

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Automação de um Telescópio Newtoniano

Érica Elisa Gumiero
Lilian Chang Alvim

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Massarani

São Paulo
2000

**Universidade de São Paulo
Escola Politécnica**

**Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas
Mecânicos**

Projeto de Automação de um Telescópio Newtoniano

**Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Graduação em Engenharia**

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Massarani

Área de Concentração:

**Engenharia Mecânica - Automação e
Sistemas (Mecatrônica)**

**São Paulo
2000**

10.0 (dez)
km

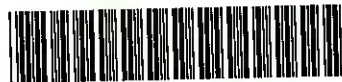
TF 2000
G953p

Alvim, Lilian Chang
Projeto de Automação de um Telescópio Newtoniano,
por E. E. Gumiero e L. C. Alvim. São Paulo, EDUSP, 2000.
125p. + apêndices.

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia
Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1. Astrometria. 2. Controle de motores de passo.
3. Posicionamento em dois graus de liberdade. I. Universidade
de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia
Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. II.t.

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600005944

Agradecimentos

Aos professores, colegas e familiares por seus conselhos, auxílios e sugestões, e a todos que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.



ÍNDICE

1. Introdução	5
2. Estabelecimento das Necessidades	7
3. Revisão de Literatura	11
3.1. Astrometria	11
3.1.1. Algumas Definições	13
3.1.2. Os Sistemas de Coordenadas	16
3.1.3. Relações entre as Coordenadas Celestes	22
3.1.4. Escalas de Medida de Tempo	29
3.1.5. Alteração nas Coordenadas dos Astros	35
4. Subdivisões do Sistema de Posicionamento	40
4.1. Primeiro Modo - atividades	40
4.2. Segundo Modo - subsistemas	41
5. Seleção do Objeto de Controle	43
5.1. Telescópios	43
5.1.1. Tipos de Telescópio	43
5.1.2. Características Físicas dos Telescópios	49
5.1.3. Análise dos Telescópios Segundo sua Aplicação	53
5.1.4. Seleção do Telescópio	54
5.2. Montagem	57
5.2.1. Tipos de Montagem	57
5.2.2. Seleção da Montagem	62
6. Formulação do Projeto	63
6.1. Especificações Técnicas	63
6.1.1. Funcionais	63
6.1.2. Operacionais	63
6.1.3. Construtivas	64
6.2. Entradas e Saídas	64
7. Síntese de Soluções	66
7.1. Levantamento das Opções	66



7.2. Descrição das Opções	67
7.2.1. Dispositivos de Comando e Controle	67
7.2.2. Dispositivos de Atuação	70
7.2.3. Dispositivos de Detecção	72
8. Seleção do Método de Controle	75
8.1. Sistemas de Controle em Malha Aberta	75
8.2. Sistemas de Controle em Malha Fechada	76
8.3. Malha Fechada Versus Malha Aberta	76
8.4. Precisão do Controle em Malha Aberta	77
8.4.1. Precisão Angular Desejada	77
9. Seleção da Melhor Alternativa	80
10. Funcionamento do Protótipo	81
10.1. Atividade de Calibração	81
10.2. Atividade de Localização	83
10.3. Atividade de Acompanhamento	84
11. Projeto Básico	85
11.1. Montagem do Telescópio	85
11.1.1. Construção das Partes do Telescópio	86
11.1.2. Colimação	88
11.1.3. Determinação do Centro de Gravidade do Telescópio	90
11.2. Estrutura Mecânica	91
11.2.1. Estrutura Dobsoniana	91
11.2.2. Adaptação do Projeto	92
11.2.3. Montagem da Estrutura	94
11.3. Projeto do Software	98
11.3.1. Método de Calibração com Duas Estrelas	98
11.3.2. Formato dos Dados	100
11.3.3. Acionamento dos Motores via Software	102
11.3.4. Estrutura do Software	103
11.3.5. Descrição das rotinas e subrotinas	103
11.3.6. Descrição da Programação	105
12. Manual do Usuário	111



12.1. Utilização do Programa	112
12.2. Opções de Menu	114
12.2.1. Configurações	114
12.2.2. Exibir	116
12.2.3. Ajuda	116
12.3. Outras Instruções	116
13. Testes	118
14. Custos do Projeto	120
15. Análise Crítica e Otimização	121
16. Referências Bibliográficas	123
16.1. Livros e Teses	123
16.2. Endereços da Internet	124
16.3. Revistas e Anuários	125



1. INTRODUÇÃO

No presente relatório são estabelecidas as necessidades do projeto e o problema que se quer resolver com o projeto.

Uma revisão bibliográfica contendo tópicos de Astronomia de Posição e outros que se mostrarão essenciais ao longo do desenvolvimento do protótipo são apresentados no Capítulo 3.

O projeto é então dividido em subsistemas e cada parte passa a ser tratada em separado facilitando a busca por alternativas de projeto.

A seguir é feita a seleção do chamado **objeto de controle** (telescópio) e de sua montagem e ainda da forma com que este será controlado. Os parâmetros de especificação do projeto que devem ser seguidos para que este obtenha o sucesso esperado são apresentados no Capítulo 6.

No Capítulo 7 é feito um julgamento das alternativas levantadas e através de uma breve discussão dentro de cada subsistema a solução final do projeto começa a ser delineada.

No Capítulo 11 inicia-se o Projeto Básico do protótipo mostrando características detalhadas da construção do protótipo e do software de controle desenvolvido em Visual Basic 6.0, assim como a integração de todos os sistemas.

No Capítulo 13 são mostrados testes que comprovam o correto funcionamento do software de controle e faz uma análise de sua eficiência frente a programas profissionais de cálculo de coordenadas de corpos celestes.



Como conclusão do trabalho nos Capítulos 14 e 15 são apresentados o custo final do projeto - uma constante preocupação no decorrer do projeto - e propostas para otimização do projeto no futuro.

Nos apêndices encontram-se tópicos complementares que podem auxiliar o leitor no entendimento das informações apresentadas.



2. ESTABELECIMENTO DAS NECESSIDADES

Em um local distante das luzes das cidades e de grandes obstáculos, o céu pode ser visto em toda sua amplitude e beleza, e torna-se muito fácil entender porque o céu e todo o universo despertam o interesse dos homens desde a Antigüidade.

Para aqueles que desejam observar o céu existem vários recursos. Um binóculo ou uma luneta de construção caseira são soluções que podem dar bons resultados. Costuma-se imaginar que a observação dos astros celestes só pode ser realizada com grandes e sofisticados telescópios, o que nem sempre é verdade; é claro que muitos detalhes e astros só poderão ser vistos com telescópios caros, de grandes resoluções, mas o binóculo, por exemplo, é um instrumento excelente para acompanhar determinados fenômenos como eclipse da Lua, os cometas, os aglomerados estelares, as nebulosas.

Assim, a escolha do equipamento ideal para a observação celeste depende muito mais do que se deseja observar e com qual riqueza de detalhes, do que com a idéia de quanto “mais moderno” melhor.

Para um iniciante, a escolha do equipamento ideal é apenas o primeiro passo a ser dado, na realidade, ele terá ainda que enfrentar mais alguns obstáculos antes de poder observar o céu de forma prazerosa:

- ☆ escolha de um local apropriado;
- ☆ prática na localização das estrelas e constelações;
- ☆ domínio do funcionamento e ajustes do telescópio escolhido.

Para se ter uma idéia dos detalhes que envolvem a atividade e a importância da escolha de local apropriado, segundo (MOURÃO - 95), um intervalo de 15 minutos no mínimo é necessário para que se inicie qualquer observação, seja a olho nu ou com o melhor e mais possante telescópio. Isso faz-se necessário porque na obscuridade, a



sensibilidade do olho pode se tornar 200 mil vezes superior à visão em pleno dia, graças ao aumento do diâmetro da pupila, e sobretudo à formação da **púrpura retiniana** ¹.

No caso de incidências periódicas de luzes, o processo de adaptação da retina começará a sofrer retardamentos que poderão prejudicar a readaptação ao escuro. Nas cidades com grande movimento, este fator é mais sério e convém evitá-lo protegendo os olhos das luzes mais próximas. A difusão das luzes nas cidades na atmosfera fará com que a observação se limite às estrelas mais brilhantes, o que pode prejudicar sensivelmente a localização de outras estrelas e constelações.

A grande ferramenta para localizar as estrelas são os **mapas estelares** ². Vários tipos podem ser utilizados e costuma-se indicar aos iniciantes os **planisférios rotativos** pela sua facilidade de manuseio. Com uma carta celeste do tipo **planisfério** obtém-se uma imagem das estrelas visíveis no momento da observação (basta coincidir nos círculos graduados o dia e hora da observação). Entretanto, algumas pessoas sentem dificuldade de localizar no céu os astros desenhados no plano do mapa.

A primeira dificuldade comum é a **Orientação**. Todos os mapas trazem indicadas as direções dos pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste). Para localizar as estrelas representadas num mapa é preciso saber onde estão os pontos cardeais no horizonte e orientar a carta celeste de acordo com eles. De posse destas referências pode-se localizar as estrelas umas em relação às outras.

Outra questão importante é a **Escala**. Todo mapa é a redução de algo maior, então surge a necessidade de escalas de redução. Utiliza-se medidas angulares para determinar as direções dos astros e uma escala relaciona um certo comprimento linear (no papel) com uma separação angular (no céu). E é exatamente isso que pode gerar alguma

¹ Substância vermelha fotossensível, que se forma na obscuridade.

² Trecho sobre os mapas celestes adaptados a partir de (MOURÃO - 95)



confusão, já que no planisfério duas estrelas podem parecer muito próximas e no céu separarem-se muito, dificultando a comparação.

Além disso, *as constelações ao serem desenhadas no mapa deformam-se*. Isto acontece devido a projeção plana utilizada para representar a esfera celeste. Isto fica mais evidente nas constelações do hemisfério que contém o **pólo celeste abaixado** (oposto ao pólo acima do horizonte, o chamado pólo elevado) que em nosso caso é o hemisfério norte. Logo deve-se levar em conta a projeção do mapa ao se avaliar o formato de uma constelação.

Com um pouco de prática qualquer iniciante pode dominar a localização das estrelas através de uma carta celeste, mas conforme a prática na observação aumenta, cresce o interesse e a curiosidade em se observar detalhes dos corpos celestes e de seus fenômenos e também pela **Astrofotografia**. É neste momento que a utilização de equipamentos mais caros e sofisticados acaba por ser necessária e o desconforto dos iniciantes aumenta. Além de caros, os telescópios são difíceis de serem ajustados e manuseados, o que dificulta o acesso de iniciantes e curiosos às belezas e enigmas do Universo e muito freqüentemente frustrando aqueles que já possuem alguma experiência.

As indústrias de equipamentos para observação astronômica pensando nestes usuários têm colocado no mercado alguns tipos de telescópios motorizados conhecidos como **GoTo**. Estes telescópios permitem ao usuário não só acompanhar o movimento aparente de uma estrela, como também apontar, a partir de um menu, para centenas de estrelas e outros corpos celestes automaticamente, isto é, sem uma intervenção direta do usuário.

Existem pelo menos três modelos no mercado (SkySensor 2000-PC, Celestron NextStar 5 e Meade EX-125EC) e todos eles custam cerca de US\$ 2.000,00, preço inacessível à maioria dos amadores.



Assim, o principal objetivo do trabalho é o projeto e a construção de um protótipo de um telescópio do tipo **GoTo** que seja capaz de a partir de duas estrelas de referência, encontrar e acompanhar as trajetórias traçadas por algumas estrelas e planetas de forma mais barata que os modelos comerciais. É importante também que o sistema projetado seja o mais simples possível para que qualquer pessoa, com conhecimento técnicos em eletrônica ou mecânica ou não, seja capaz de reproduzir o sistema projetado.



3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. ASTROMETRIA

Ao se observar um céu estrelado tem-se a impressão de que se está no centro de uma grande esfera incrustada com milhares de pontos luminosos que se apresentam sem ordem alguma.

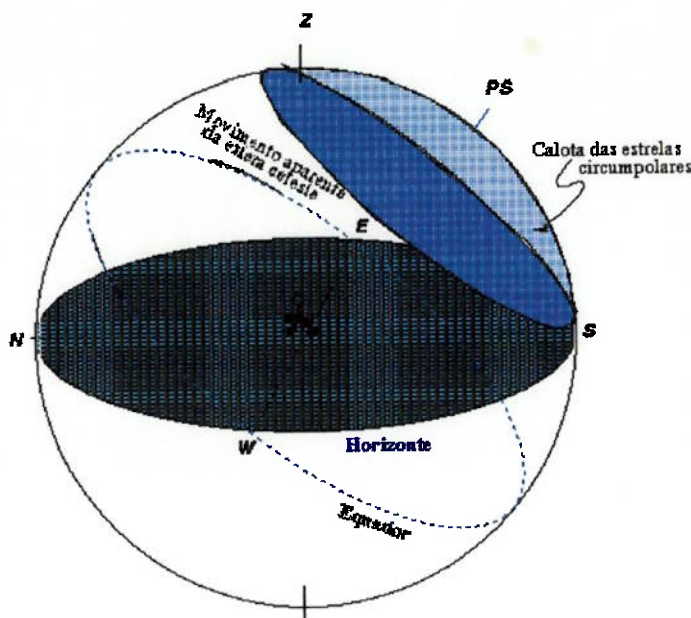


Figura 1 - Esfera celeste

Contudo, com o passar das horas, percebe-se que os astros se movem no céu, nascendo a leste e se pondo a oeste. Isso causa a impressão de que a **esfera celeste** está girando de leste para oeste, em torno de um eixo imaginário, que intercepta a esfera em dois pontos fixos, chamado de **pólos celestes**. Na verdade, esse movimento, chamado de **movimento diurno dos astros**, nada mais é do que um reflexo do movimento de rotação da Terra, que se faz de oeste para leste.

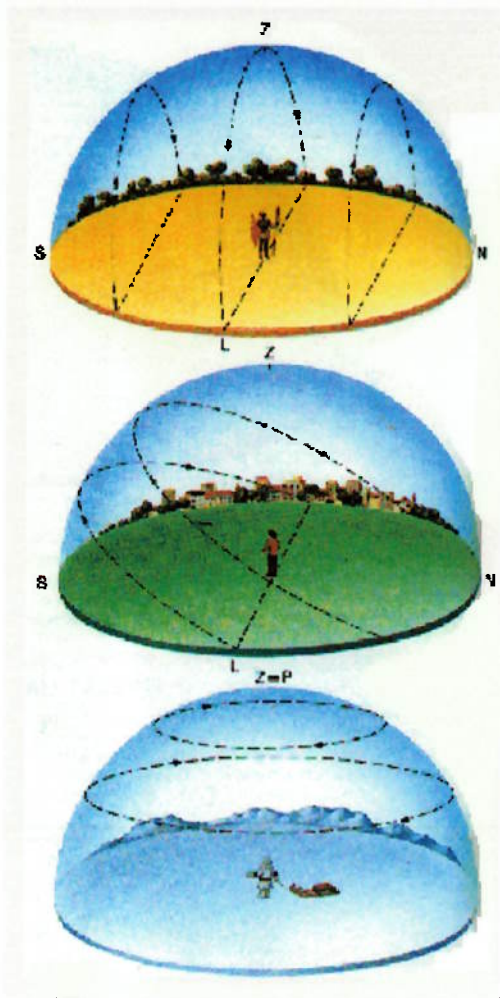


Figura 2 - Movimento diurno dos astros

O ponto ao redor do qual as estrelas descrevem círculos concêntricos constitui o ponto em que o eixo da Terra prolongado perfuraria a esfera celeste. Com o auxílio da Figura 2 pode-se entender melhor o conceito dos pólos celestes destacando dois casos notáveis:

Um observador, nos pólos terrestres, seja no Norte ou no Sul, veria as estrelas girando paralelamente ao horizonte, continuamente, e nunca nascerem ou se porem no horizonte.

Um outro observador, no equador terrestre veria as estrelas nascerem e se porem perpendicularmente no horizonte.

Observando o céu sempre de um mesmo lugar, o observador que vê estrelas nascendo e se pondo no horizonte, perceberá que uma mesma estrela aparece e desaparece todos os dias em um mesmo ponto do horizonte. Contudo, este mesmo observador poderá perceber que uma mesma estrela aparece e desaparece a cada dia cerca de **quatro minutos mais cedo**. Em um mês, este avanço será de duas horas.

Tal fenômeno é chamado de **movimento aparente anual**, e é causado pelo movimento da Terra ao redor do Sol no período de um ano. É por esse motivo que o aspecto do céu se modifica a cada dia se observado à mesma hora: alguma estrelas deixarão de ser vistas e outras surgirão. É interessante notar que por causa deste fenômenos as duas estrelas que serão utilizadas no protótipo como referência para a



localização dos outros astro não poderão ser sempre as mesmas, já que não se pretende definir uma localização (latitude , longitude) fixa para observação.

De acordo com a latitude do local de observação pode-se observar um grupo de estrelas que nunca nascem ou se põem, permanecendo sempre acima do horizonte, estes astro se chamam **circumpolares**. (Quando o local é um dos pólos terrestres todas as estrelas visíveis possuem este comportamento como já foi mencionado acima.)

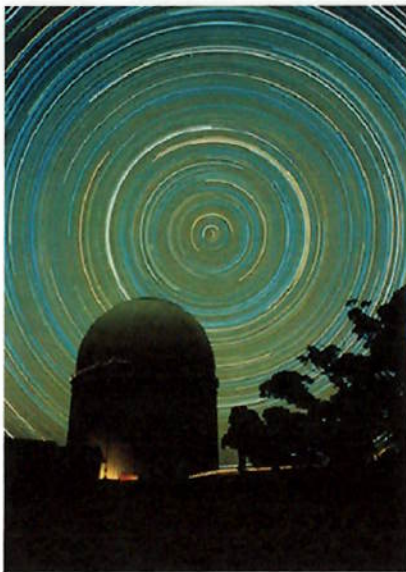


Figura 3 - Trajetória das estrelas circumpolares

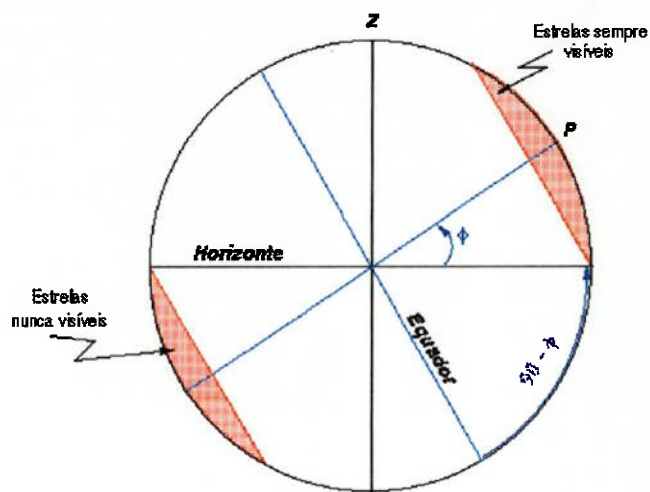


Figura 4 - Estrelas circumpolares

3.1.1. ALGUMAS DEFINIÇÕES

A determinação de alguns planos e pontos notáveis definidos pelos antigos gregos são muito úteis na determinação da posição dos astros no céu. As definições encontradas por eles são:



Horizonte: plano tangente à Terra no lugar em que se encontra o observador. Como o raio da Terra é desprezível frente ao raio da esfera celeste, considera-se que o horizonte é um círculo máximo da esfera celeste, ou seja, passa pelo centro.

Zênite: ponto no qual a vertical do lugar (perpendicular ao horizonte) intercepta a esfera celeste, acima da cabeça do observador.

Nadir: ponto diametralmente oposto ao zênite.

Equador Celeste: círculo máximo em que o prolongamento do equador da Terra intercepta a esfera celeste.

Pólo Celeste Norte: ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério norte.

Pólo Celeste Sul: ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério sul.

Círculo Vertical: qualquer semicírculo máximo da esfera celeste contendo a vertical do lugar. Os círculos verticais começam no zênite e terminam no nadir.

Ponto Geográfico Norte: ponto em que o círculo vertical que passa pelo Pólo Celeste Norte intercepta o horizonte.

Ponto Geográfico Sul: ponto em que o círculo vertical que passa pelo Pólo Celeste Sul intercepta o horizonte.

Círculo de Altura: qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao horizonte. É também chamado de **paralelo de altura**.



Círculo Horário: qualquer semicírculo máximo da esfera celeste que contém os dois pólos celestes. É também chamado de **meridiano**.

Paralelo: qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao equador celeste. É também chamado de **círculo diurno**.

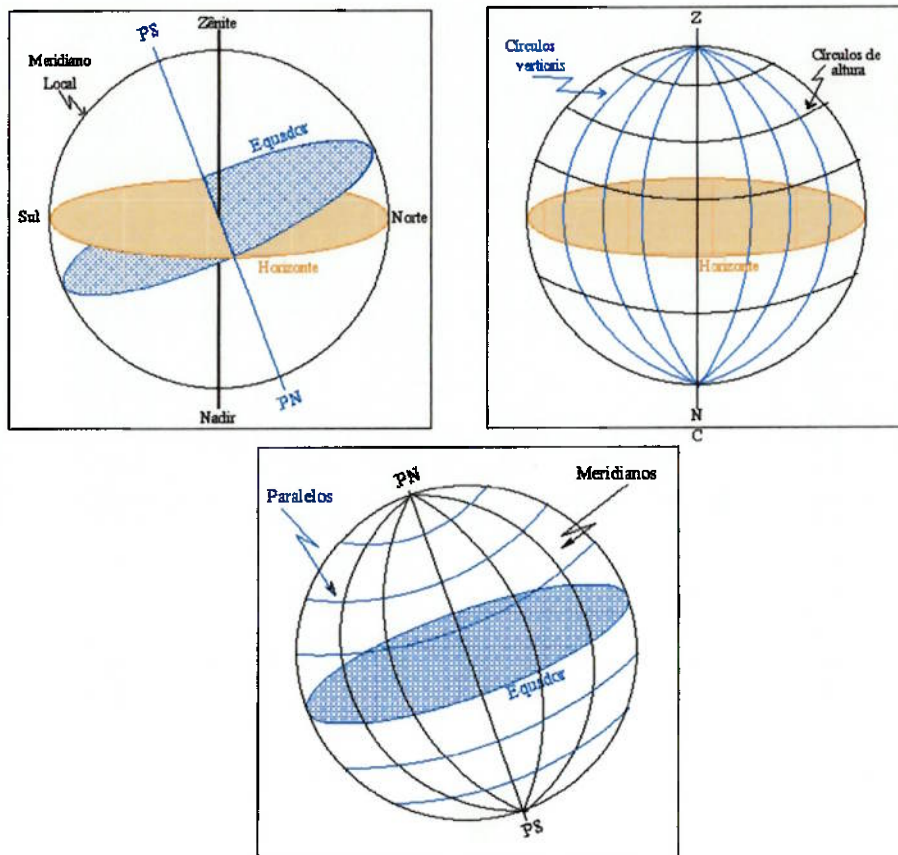


Figura 5 - Algumas definições da Astrometria



3.1.2. OS SISTEMAS DE COORDENADAS

Para determinar a posição de um astro no céu, é preciso definir um sistema de coordenadas. Nesse sistema, será utilizado apenas coordenadas angulares, sem a preocupação com as distâncias dos astros da Terra. A posição do astro será determinada através de dois ângulos de posição, um medido sobre um plano fundamental, e o outro medido perpendicularmente a ele.

A escolha do ponto central do sistema de coordenadas é arbitrária e depende do problema astronômico em questão. Se o centro do sistema coincide com o centro da Terra, diz-se que o sistema de coordenadas é **geocêntrico**; se o centro for o Sol então tem-se um sistema **heliocêntrico**; se o centro do sistema de coordenadas for um ponto na superfície da Terra, este sistema será **topocêntrico**.

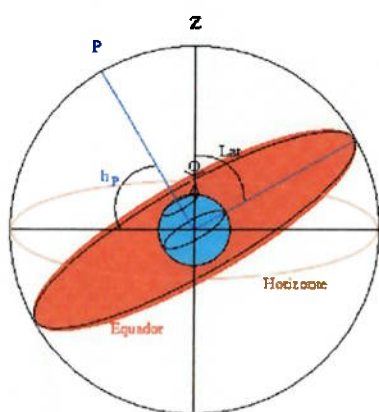


Figura 6 - Latitude geográfica e astronômica

Antes de iniciar a explicação dos sistemas de coordenadas astronômicas, convém fazer uma recordação do sistema de coordenadas geográficas, usado para medir posição sobre a superfície da Terra. Nesse sistema as coordenadas são **latitude** e a **longitude**.

Longitude Geográfica (λ): é o ângulo medido ao longo do equador da Terra, tendo origem em um meridiano de referência (o meridiano de Greenwich), e extremidade no meridiano do lugar. A longitude foi definida como variando de 0 a $+180^\circ$ (Oeste de Greenwich) e de 0 a -180° (Leste). Na convenção usada em astronomia, varia entre $-12h$ (Oeste) e $+12h$ (Leste).



Latitude Geográfica (ϕ): ângulo medido ao longo do meridiano do lugar, com origem no equador e extremidade no lugar. Varia entre -90° e $+90^\circ$. (O sinal negativo indica latitudes do hemisfério sul e o sinal positivo hemisfério norte.)

Definição Astronômica de Latitude (h_p ou φ): De forma geral diz-se que a latitude astronômica de um lugar é igual à altura do *pólo elevado* para este local.

Para efeito prático pode-se supor perfeitamente que o tamanho da Terra é desprezível face às dimensões da esfera celeste³. Assumindo esta simplificação, a Terra pode ser representada como sendo um ponto no centro da esfera celeste, pode-se admitir o horizonte passando pelo centro da esfera celeste.

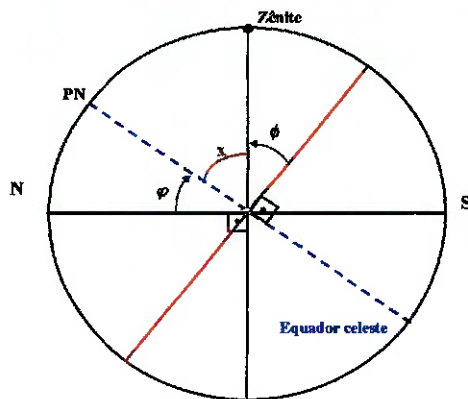


Figura 7 – Relação entre as latitudes geográfica e astronômica

De acordo com a Figura 7 que representa a simplificação descrita pode-se perceber que os ângulos φ e ϕ são complementares do mesmo ângulo α ; portanto são iguais.

Este resultado será utilizado no item 3.1.3, quando as relações entre alguns tipos de coordenadas serão estabelecidas.

³ Segundo (BOCZKO - 84) esta simplificação nem sempre é possível quando tratamos com objetos próximos: astros do sistema solar, por exemplo.



3.1.2.1. O SISTEMA HORIZONTAL

Esse sistema utiliza como plano fundamental o **Horizonte Celeste**. As coordenadas horizontais são **azimute** e **altura**.

Azimute (A): é o ângulo medido sobre o horizonte, no sentido horário, com origem no Norte e extremidade no círculo vertical do astro. O azimute varia entre 0° e 360° .

Altura (h): é o ângulo medido sobre o círculo vertical do astro, com origem no horizonte e extremidade no astro. A altura varia entre -90° e $+90^\circ$. O complemento da altura se chama distância zenital (z). Assim, a **distância zenital** é o ângulo medido sobre o círculo vertical do astro, com origem no zênite e extremidade no astro. A distância zenital varia entre 0° e 180° :

$$(h + z = 90^\circ)$$

O sistema horizontal é considerado um sistema local, isto porque o referencial é fixo na Terra. As coordenadas azimute e altura (ou azimute e distância zenital) dependem do lugar e do instante da observação e não são características do astro; o azimute de um astro sempre aumenta durante o decorrer de um dia (exceto pela de descontinuidade a 360°).



3.1.2.2. O SISTEMA EQUATORIAL CELESTE

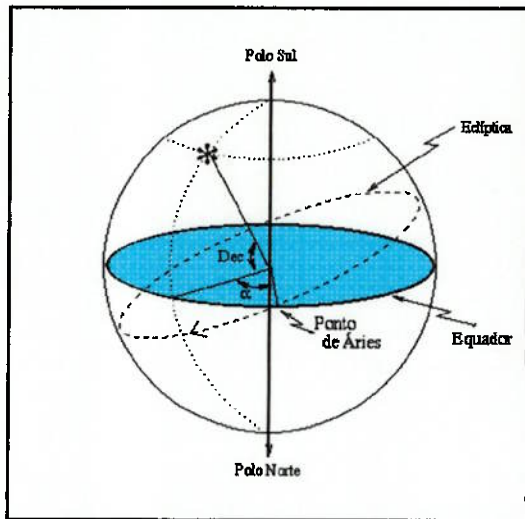


Figura 8 - Esquema do sistema equatorial celeste de coordenadas

Este sistema utiliza como plano fundamental o **Equador Celeste**. Suas coordenadas são a **ascensão reta** e a **declinação**.

Ascensão Reta (α ou AR): ângulo medido sobre o equador, com origem no meridiano que passa pelo **ponto Áries**, e extremidade no meridiano do astro. A ascensão reta varia entre 0h e 24h (ou entre 0° e 360°) aumentando para leste.

O **Ponto Áries**, também chamado **Ponto Gama (γ)**, ou **Ponto Vernal**, é um ponto do equador, ocupado pelo Sol no equinócio de primavera do hemisfério norte (mais ou menos em 22 de março de cada ano).

Declinação(δ): ângulo medido sobre o meridiano do astro, com origem no equador e extremidade no astro. A declinação varia entre -90° e $+90^\circ$. O complemento da declinação se chama **distância polar (Δ)**.

$$(\delta + \Delta = 90^\circ)$$

O sistema equatorial celeste é fixo na esfera celeste, e portanto suas coordenadas não dependem do lugar e instante de observação. Por convenção, a ascensão reta é medida em horas, minutos e segundos como o tempo, a relação é simplesmente 1 hora = 15° .



A ascensão reta e a declinação de uma estrela não se alteram devido ao movimento diurno de rotação da Terra. Isto não significa que no sistema equatorial não haja uma variação das coordenadas com o tempo, mas sim, que esta variação é muito mais lenta que no caso das coordenadas horizontais.

3.1.2.3. SISTEMA EQUATORIAL HORÁRIO

Nesse sistema o plano fundamental continua sendo o Equador, mas a coordenada medida ao longo do equador não é mais a ascensão reta, e sim uma coordenada não constante chamada *ângulo horário*. A outra coordenada continua sendo a *declinação*.

Ângulo Horário (H): ângulo medido sobre o equador, com origem no meridiano local e extremidade no meridiano do astro. Varia entre -12h e +12h. O sinal negativo indica que o astro está a leste do meridiano, e o sinal positivo indica que ele está a oeste do meridiano.

Enquanto que a ascensão reta não varia devido ao movimento diurno da esfera celeste, o ângulo horário varia. A relação entre estas duas coordenadas está diretamente ligada ao movimento diurno da origem do sistema de coordenadas equatoriais, o Ponto Vernal. A soma da ascensão reta com o ângulo horário resulta em: $T_s = H + \alpha$, onde T_s é o tempo sideral local (o tempo sideral será apresentado com maiores detalhes no item 3.1.4.2).



3.1.2.4. OUTROS SISTEMAS DE COORDENADAS

É muito comum encontrarmos ainda o **Sistema de Coordenadas Eclíptico**, que possui como plano fundamental a curva da **Eclíptica**, que é a linha que o Sol parece descrever por entre as estrelas durante seu movimento anual aparente.

As coordenadas principais do sistema eclíptico são a **latitude eclíptica (b)** e a **longitude eclíptica (l)**, que possuem como ponto de origem o Ponto Vernal (γ).

A **latitude b** é o ângulo desde a Eclíptica, medido sobre o meridiano Eclíptico que passa pelo astro até o astro em questão. Já a **longitude l** é o ângulo medido desde o Ponto Vernal até o meridiano Eclíptico que passa pelo astro em questão seguindo a curva da Eclíptica.

Outro sistema de coordenadas freqüentemente utilizadas na *Astronomia de Posição*, mas com aplicações usuais que nada têm a ver com o posicionamento de um telescópio é o **Sistema de Coordenadas Galácticas**. Este sistema é utilizado apenas em **astronomia extragaláctica**⁴ ou em problemas ligados à nossa galáxia como um todo, como por exemplo a descrição do movimento das estrelas do disco da Via Láctea.

⁴ A **astronomia extragaláctica** trata do estudo do grupo local de galáxias, no qual a Via Láctea e a galáxia de Andrômeda são os principais membros.



3.1.3. RELAÇÕES ENTRE AS COORDENADAS CELESTES

Muitas vezes são conhecidas as coordenadas de um astro num determinado sistema de coordenadas e deseja-se obter suas coordenadas num outro sistema por força da aplicação que se deseja dar à Astrometria. Este é aliás um dos problemas fundamentais em **Astronomia de Posição** e compreender sua resolução é um dos fatores mais críticos na solução do posicionamento automático do telescópio proposto no projeto.

Duas são as maneiras mais usuais de se fazer tal mudança de coordenadas: mudança por meio da **Trigonometria Esférica**, apresentada no item 3.1.3.1 ou através da mudança de coordenadas por **Matrizes de Rotação**, apresentada através dos itens 3.1.3.2 e 3.1.3.3

3.1.3.1. TRIGONOMETRIA ESFÉRICA

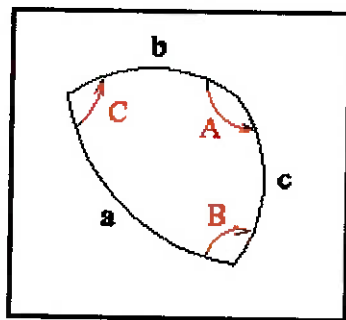


Figura 9 - Ângulos da trigonometria esférica

Um **triângulo esférico** é a parte da esfera definida pela interseção de três planos, dois a dois, que, obrigatoriamente passam pelo centro da esfera em questão.

Os arcos de circunferência que ficam definidos na superfície da esfera se chamam **lados a, b, c** do triângulo esférico, enquanto que suas interseções são os vértices do triângulo. Já os ângulos **A, B e C** do triângulo esférico são conhecidos como **ângulos diedros das interseções**.



A trigonometria esférica apresenta diferenças fundamentais em relação à trigonometria plana:

- ☆ a soma dos ângulos de um triângulo esférico é sempre maior do que 180° graus, e menor do que 270° , e não é constante, dependendo do triângulo analisado;
- ☆ a soma dos lados de um triângulo esférico é maior do que zero e menor do que 180° ;
- ☆ os lados maiores estão sempre opostos aos menores ângulos do triângulo;
- ☆ cada um dos lados e ângulos do triângulo esférico é sempre menor do que 180° ;
- ☆ a soma de dois lados do triângulo é sempre maior do que o terceiro lado, e a diferença é sempre menor.

Com base nestas propriedades e na geometria e trigonometria plana pode-se demonstrar que⁵:

$$\cos(a) \cdot \cos(b) \cdot \cos(c) + \sin(b) \cdot \sin(c) \cdot \cos(A)$$

$$\frac{\sin(a)}{\sin(A)} = \frac{\sin(b)}{\sin(B)} = \frac{\sin(c)}{\sin(C)}$$

$$\sin(a) \cdot \cos(B) = \cos(b) \cdot \sin(c) - \sin(b) \cdot \cos(c) \cdot \cos(A)$$

A aplicação conveniente dessas fórmulas nos triângulos esféricos determinados pelos diversos sistemas de coordenadas permite a mudança de coordenadas de um astro.

Transformações:

Coord. Horizontal → Coord. Equatorial Horário:

$$\sin \delta = \cos z \cdot \sin \varphi + \sin z \cdot \cos \varphi \cdot \cos A$$

$$\sin H \cdot \cos \delta = -\sin z \cdot \sin A$$

$$\cos \delta \cdot \cos H = \cos z \cdot \cos \varphi - \sin z \cdot \sin \varphi \cdot \cos A$$

⁵ Uma demonstração mais detalhada das relações aqui apresentadas podem ser obtida nas referências (BOCZKO - 84) e (NETO - 99)



Coord. Equatorial Horário \rightarrow Coord. Equatorial Celeste:

$$T_s = \alpha + H$$

Coord. Equatorial Celeste \rightarrow Coord. Eclíptica:

$$\sin b = \cos \varepsilon \cdot \sin \delta - \sin \varepsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha$$

$$\cos b \cdot \cos \ell = \cos \delta \cdot \cos \alpha$$

$$\cos b \cdot \sin \ell = \sin \varepsilon \cdot \sin \delta + \cos \varepsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha$$

3.1.3.2. RELAÇÃO ENTRE COORDENADAS ESFÉRICAS E CARTESIANAS

No item anterior foi vista uma série de fórmulas derivada da trigonometria esférica para passar de um sistema de referência para outro. Para facilitar e “mecanizar” essas transformações foi idealizada uma técnica por meio de um **cálculo matricial**, que é muito útil no desenvolvimento do dispositivo de controle do protótipo.

Admite-se que um dado *ponto* P , pertencente a uma esfera de *raio* OP terá coordenadas (x, y, z) num determinado sistema **direto**⁶ de coordenadas. Num sistema esférico, esse mesmo ponto terá coordenadas (μ, ν) , onde μ é medida no *plano* xy , no sentido anti-horário, a partir de x e ν medida a partir do plano xy , em direção ao lado positivo de z .

Adotando o *raio* OP como tendo valor unitário, as coordenadas do *ponto* P serão:

⁶ Um sistema de coordenadas será dito **direto** ou **anti-horário** quando seus eixos estiverem dispostos de tal forma que respeitem a regra da mão direita ($\vec{x} \wedge \vec{y} = \vec{z}$). O sistema onde ($\vec{x} \wedge \vec{y} = -\vec{z}$) é chamado de **indireto**.



$$\begin{aligned}x &= \cos(\nu) \cdot \cos(\mu) \\y &= \cos(\nu) \cdot \text{sen}(\mu) \\z &= \text{sen}(\nu)\end{aligned}$$

O que corresponde, em sua forma matricial a:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\nu) \cdot \cos(\mu) \\ \cos(\nu) \cdot \text{sen}(\mu) \\ \text{sen}(\nu) \end{pmatrix}$$

Com base neste princípio e nas definições apresentadas para os três principais sistemas de coordenadas nos itens anteriores (coordenadas horizontais, equatoriais e equatoriais-locais) tem-se as seguintes relações entre as coordenadas esféricas e a cartesiana para cada caso:

Coordenada Horizontal: Em notação matricial, a posição de um astro de altura h e azimute A é:

$$I = \begin{pmatrix} \cos(h) \cdot \cos(A) \\ -\cos(h) \cdot \text{sen}(A) \\ \text{sen}(h) \end{pmatrix}$$

Coordenada Equatorial Celeste: Em notação matricial, a posição de um astro de declinação δ e ascensão reta α é:

$$I = \begin{pmatrix} \cos(\delta) \cdot \cos(\alpha) \\ \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\alpha) \\ \text{sen}(\delta) \end{pmatrix}$$

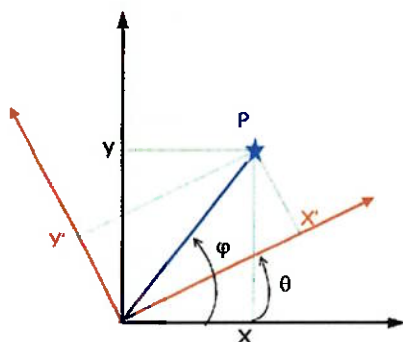
Coordenada Equatorial Horária: Em notação matricial, a posição de um astro com o ângulo horário H e a declinação δ é dada por:

$$I = \begin{pmatrix} \cos(\delta) \cdot \cos(H) \\ -\cos(\delta) \cdot \text{sen}(H) \\ \text{sen}(\delta) \end{pmatrix}$$



3.1.3.3. MUDANÇA DE COORDENADAS POR MATRIZES DE ROTAÇÃO

Como visto no item anterior as coordenadas polares de uma esfera podem ser escritas, em forma vetorial, em coordenadas cartesianas. A vantagem disto está no fato de que as transformações entre dois sistemas de coordenadas quaisquer podem ser decompostos em rotações que, por sua vez podem ser representadas por matrizes. Assim, pode-se facilmente escrever e calcular uma transformação de coordenadas utilizando produtos de matrizes e vetores.



No caso de uma rotação em torno de um dos eixos cartesianos, pode-se considerar uma rotação em duas dimensões. Para o exemplo da Figura 10 a rotação se dá ao redor do *eixo z*, onde φ é o ângulo do *raio vetor de P*.

Considerando uma rotação de θ ao redor do *eixo z* tem-se:

Figura 10 - Rotação no plano de um ângulo θ

$$\begin{cases} x = \cos \varphi \\ y = \sin \varphi \end{cases} \quad \text{e} \quad \begin{cases} x' = \cos(\varphi - \theta) = \cos(\varphi) \cdot \cos(\theta) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\theta) \\ y' = \sin(\varphi - \theta) = \sin(\varphi) \cdot \cos(\theta) - \cos(\varphi) \cdot \sin(\theta) \end{cases}$$

Eliminando-se φ acaba-se por obter a relação entre os sistemas de coordenadas $Oxyz$ e $O'x'y'z'$.

As rotações básicas ao redor dos eixos cartesianos x, y e z cada uma de valor angular são dadas pelas matrizes dos cossenos diretores:



$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_x & \text{sen}\alpha_x \\ 0 & -\text{sen}\alpha_x & \cos\alpha_x \end{pmatrix}$$

$$R_y = \begin{pmatrix} \cos\alpha_y & 0 & -\text{sen}\alpha_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}\alpha_y & 0 & \cos\alpha_y \end{pmatrix}$$

$$R_z = \begin{pmatrix} \cos\alpha_z & \text{sen}\alpha_z & 0 \\ -\text{sen}\alpha_z & \cos\alpha_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Dado um par de coordenadas em um sistema qualquer, deve-se encontrar as rotações necessárias para transformar estas coordenadas em um outro sistema de coordenadas.. Genericamente pode-se escrever:

$$I(\alpha, \delta) = R_x \cdot R_y \cdot R_z \cdot I(l, b)$$

Conversão do Sistema Equatorial Horário em Equatorial Celeste: Sejam (x, y, z) as coordenadas de um astro no *sistema horário* e (x', y', z') , para se obter as coordenadas do mesmo astro no *sistema equatorial* (x', y', z') deve-se:

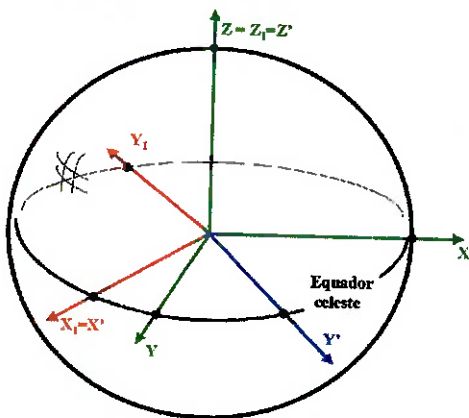


Figura 11 - Conversão do sistema horário em equatorial

- ★ Girar o *eixo x* de um ângulo T_s (tempo sideral) no sentido horário em torno de z
- ★ Converter o sistema indireto resultante num sistema direto.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}_{\alpha, \delta} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot R_z(T_s) \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{H, \delta}$$



Conversão do Sistema Equatorial Celeste em Equatorial Horário:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{H,\delta} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} R_z(T_S) \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}_{\alpha,\delta}$$

Conversão do Sistema Horizontal em Equatorial Horário: Sejam (x, y, z) as coordenadas de um astro no *sistema horizontal* e (x', y', z') , para se obter as coordenadas do mesmo astro no *sistema horário* (x', y', z') deve-se:

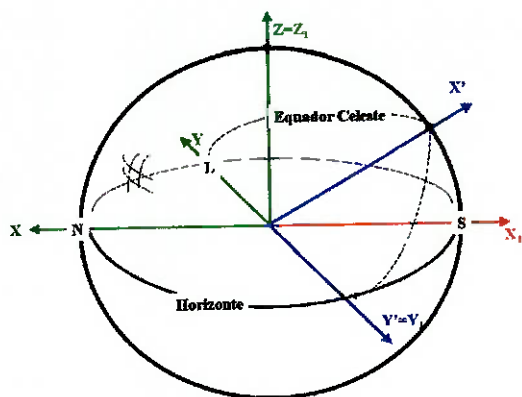


Figura 12 - Conversão do sistema horizontal em horário

☆ Girar o *eixo x* de um ângulo de 180° em torno de z . Desta primeira etapa resultam os eixos (x_1, y_1, z_1) ;

☆ Girar o *eixo x1* de um ângulo de $-(90^\circ - \phi)$ ⁷ em torno de y_1 ;

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}_{H,\delta} = R_{y_1}(\phi - 90^\circ) R_{z_1}(180^\circ) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{A,h}$$

Conversão do Sistema Equatorial Horário em Horizontal:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}_{A,h} = R_{z_1}(-180^\circ) R_{y_1}(90^\circ - \phi) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{H,\delta}$$

⁷ Esta rotação é igual ao complemento da latitude do observador. Neste caso está sendo considerado que a latitude astronômica é igual à latitude geográfica.



No caso do projeto, constantemente deverá haver a transformação das coordenadas de um astro no **sistema equatorial de coordenadas** para o **sistema horizontal local**.

Isso acontecerá porque conforme apresentado nos itens anteriores, as coordenadas dos astros no sistema equatorial são constantes, e portanto conhecidas.

Assim, se na calibração do telescópio forem utilizadas duas estrelas conhecidas do operador como pontos de referência, através de relações matemáticas simples obtém-se a relação entre as coordenadas dos astros (equatorial) e a dos eixos do telescópio (horizontal local) para aquele local de observação. Dessa forma, para encontrar qualquer outra estrela ou astro é necessário apenas acrescentar ou decrementar os ângulos do sistema horizontal, de acordo com a relação encontrada durante a calibração, e consultar o banco de dados de coordenadas equatoriais dos astros.

3.1.4. ESCALAS DE MEDIDA DE TEMPO

Em Astronomia de Posição é interessante estabelecer critérios para medir a passagem de tempo pois os astros, que observados da Terra apresentam movimentos periódicos, podem ser utilizados como referência. Os sistemas de medidas de tempo fornecidos pelos astros são:

Tempo Solar: Baseado no movimento diário aparente do Sol.

Tempo Sideral: Baseado no período de rotação da Terra em relação às estrelas.

Tempo das Efemérides: Baseado no movimento orbital dos corpos do sistema Solar, é o tempo teoricamente uniforme utilizado nas equações da Mecânica Clássica.



3.1.4.1. TEMPO SOLAR

O intervalo de tempo nesta escala é medido pelo ângulo entre o meridiano local e o meridiano que passa pelo Sol. Costuma-se dizer que: a **Hora Solar Verdadeira** ou o **Tempo Solar Verdadeiro** é o ângulo horário do Sol acrescido de 12 horas⁸:

$$TVL = H_L + 12_{horas}, \quad \text{onde } TVL = \text{tempo solar verdadeiro local}$$

H_L = ângulo do Sol verdadeiro a partir do meridiano local

Caso o meridiano local seja o meridiano que passa por Greenwich, então tem-se o **Tempo Solar Verdadeiro de Greenwich (TVG)**:

$$TVG = H_G + 12_{horas}, \quad \text{onde } H_G = \text{ângulo horário do Sol verdadeiro a partir do meridiano de Greenwich}$$

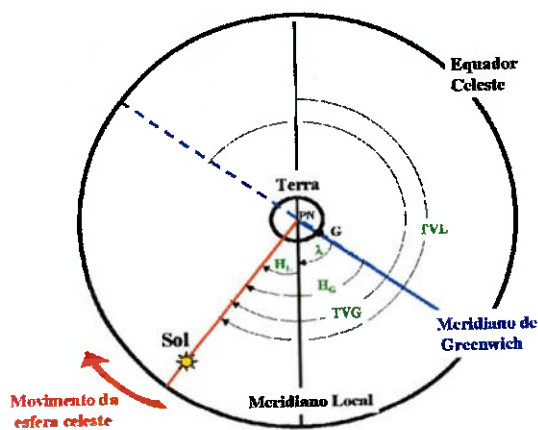


Figura 13 - Relação entre TVL e H_L .

Pela análise da Figura 13 pode-se concluir que:

$$\lambda = H_G - H_L \quad \text{onde } \lambda \text{ é a}$$

$$\lambda = TVG - TVL'$$

longitude geográfica do lugar.

O problema desta destas definições é que o movimento aparente do Sol em torno da Terra não é uniforme e portanto, a duração dos dias

verdadeiros não é igual. Adotou-se então um valor médio de duração para o dia pela criação de um Sol fictício, denominado de **Sol médio**. Tal Sol passa duas vezes

⁸ O fato de se somar 12 horas ao ângulo horário local, deve-se a conveniência de se colocar a origem zero horas não ao meio-dia, mas à meia-noite.



consecutivas por um mesmo meridiano em um **dia médio**. O Sol médio é definido como sendo um ponto no Equador celeste cujo movimento diário se dá com velocidade angular constante ao longo do ano e cujo período seja igual ao de um dia médio, que por definição tem 24h00m00s.

Com base nesta nova definição de Sol e de dia, pode-se chamar o **Tempo Solar Médio Local (TL)** ao ângulo horário H'_L do Sol médio acrescido de 12 horas:

$$TL = H'_L + 12_{horas}$$

Caso o local seja Greenwich, então o Tempo Solar Médio passa a receber o nome de **Tempo Universal (UT)**:

$$UT = H'_G + 12_{horas}$$

Pela Figura 14 percebe-se que:

$$\lambda = H'_G - H'_L$$

$$\lambda = UT - TL$$

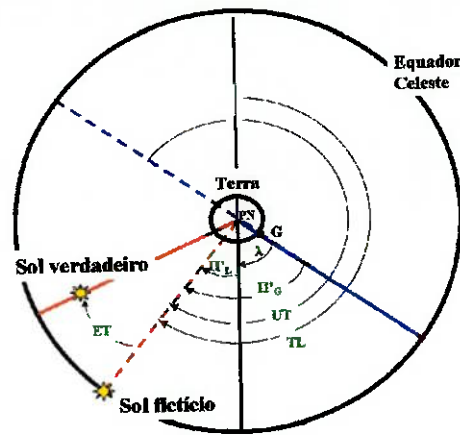


Figura 14 - Relação entre UT e TL

O **Tempo Civil**, a escala de tempo utilizada no dia-a-dia, era até os anos 70 definidos pelo tempo solar médio + 12 horas. Atualmente, sua definição precisa está ligada ao **Tempo Atômico**, e não da rotação da Terra.



3.1.4.2. TEMPO SIDERAL

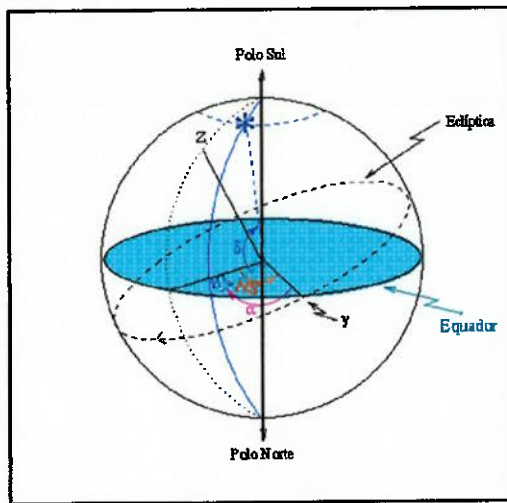


Figura 15 – Tempo sideral e os sistemas equatorial celeste e horário

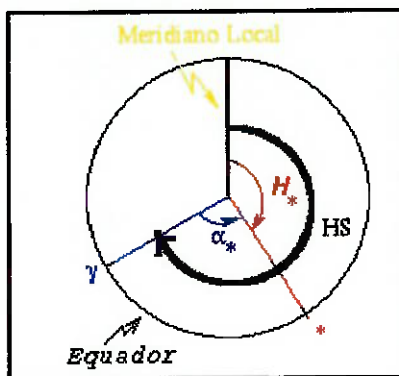


Figura 16 - Esquema da hora sideral

O sistema equatorial celeste e o sistema equatorial local, juntos, definem o conceito de **tempo sideral**. O tempo sideral, assim como o tempo solar, é uma medida do tempo, e aumenta ao longo do dia.

Hora Sideral (H_s): ângulo horário do ponto Áries. Pode ser medida a partir de qualquer estrela, pela relação: $H_s = H_* + \alpha_*$

Dia Sideral: é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do Ponto Vernal pelo meridiano do lugar.

O Dia Sideral é 3m56s mais longo do que o dia solar. Essa diferença é devida ao movimento de translação da Terra em torno do Sol, de aproximadamente 1 grau (4 minutos) por dia ($360^\circ/\text{ano}$). Como a órbita da Terra em torno do Sol é elíptica, a

velocidade de translação da Terra em torno do Sol não é constante, causando uma variação diária de $1^\circ 6'$ (4m27s) em dezembro, e $53'$ (3m35s) em junho.

É importante notar também, que para cada meridiano terrestre pode-se definir uma **Hora Sideral Local** que se relaciona com a **Hora Sideral de Greenwich** pela relação:

$$T_{s\text{local}} = T_{s\text{greenwich}} + \lambda$$



A vantagem de se definir o tempo sideral a partir do meridiano de Greenwich é que existe uma relação empírica entre esta hora (ou simplesmente tempo sideral) e o tempo universal mostrada no próximo item.

3.1.4.3. RELAÇÃO ENTRE O TEMPO SIDERAL E O TEMPO UNIVERSAL

O tempo sideral que corresponde a 0h UT para um observador no meridiano de Greenwich é dado pela fórmula proposta em 1982 pela União Astronômica Internacional (UAI):

$$T_s = 6h41m50,5484s + 8.640.184,812866s * T_{j2000} + 0,093104s * T_{j2000}^2 - 6,2 * 10^{-6} s * T_{j2000}^3$$

Para qualquer hora que não seja 0h UT basta multiplicar a hora UT por 1,00273790935⁹ e somar com o resultado da fórmula anterior para 0h do dia em questão. Se for necessário calcular o tempo sideral local deve-se simplesmente acrescentar ou subtrair a longitude local como visto no item 3.1.4.2. Já a definição de T_{j2000} é dada no próximo item.

3.1.4.4. DIA JULIANO

Para se contar os dias de um modo prático para a utilização nos cálculos astronômicos, foi criado um sistema onde os dias são contados de maneira consecutiva. Este sistema é chamado **dia juliano**, e cada dia do calendário corresponde a um certo dia juliano. Por definição a contagem dos dias julianos começa ao meio dia de 1° de janeiro de 4713 a.C. (ou, na forma “astronômica” de contar os anos, -4712). Ao contrário dos calendários utilizados habitualmente, a contagem de dias julianos não utiliza o conceito

⁹ Este fator nada mais é do que a razão entre o dia solar (24h) e o dia sideral (23h56m4,09s)



de meses ou anos. O cálculo do dia juliano para uma data qualquer é feita da seguinte forma:¹⁰

- a) A data é dada pelo dia D , mês M e ano A ;
- b) O dia é dado através de decimais. *Exemplo:* o meio-dia do dia 13 é igual a 13,5;
- c) Os anos a.C. são contados de maneira matemática, isto é, 1a.C.=0, 2a.C.=-1, 3a.C.=-2, etc;
- d) Se $M=1$ ou $M=2$, então $A=A-1$ e $M=M+12$; caso contrário tanto M quanto A permanecem o mesmo;
- e) Se a data for posterior a 15/10/1582 (calendário Gregoriano) então deve-se calcular $A_1 = \text{int}(A/100)$ e $A_2 = 2 - A_1 + \text{int}(A_1/4)$
- f) Se a data for anterior a 40/10/1582 (calendário Juliano), então $A_2 = 0$.
- g) Finalmente o dia juliano é:

$$JD = \text{int}(365,25 * [A + 4716]) + \text{int}(30,6001 * [M + 1]) + D + A_2 - 1524,5$$

Por definição chama-se de **Século Juliano (T)** o intervalo de tempo igual a 36.525 dias. Em geral, os séculos julianos são contados a partir de uma dada época, que por convenção pode ser o meio dia de 31/12/1899 (B1900.0) ou ainda o meio dia de 01/01/2000 (J2000.0). Chamando T_{B1900} os séculos julianos a partir de B1900.0 e T_{J2000} a partir de J2000 tem-se:

$$T_{B1900} = \frac{JD - 2.415.020}{36.525} \quad \text{e} \quad T_{J2000} = \frac{JD - 2.451.545}{36.525}$$

¹⁰ Cálculo segundo mostrado em (NETO - 99).



3.1.4.5. TEMPO DAS EFEMÉRIDES

Nas equações da Mecânica Clássica um argumento é sempre considerado como independente: o tempo. Como nem o tempo Universal (solar) e nem o Sideral podem ser considerados uniformes já que dependem do movimento diário aparente, o qual não é uniforme. Para contornar esse problema define-se **Tempo das Efemérides (TE)**. Ele é computado de forma a que o resultados observacionais coincidam com os valores preditos pela resolução das equações que definem o movimento dos astros.

Do ponto de vista teórico, o tempo das efemérides é baseado no movimento da Terra em redor do Sol, mas pode, e é, calculado também a partir do movimento de outros corpos do sistema Solar. Na prática, sua determinação é feita através do movimento da Lua em torno da Terra.

3.1.5. ALTERAÇÃO NAS COORDENADAS DOS ASTROS

3.1.5.1. EFEITO DA PRECESSÃO E DA NUTAÇÃO NAS COORDENADAS

Na astronomia de posição, costuma-se tratar separadamente os efeitos da variação das coordenadas dos astros. A ação da Lua, Sol e planetas na inclinação do eixo terrestre e no movimento do eixo de rotação da Terra são divididos em três partes:

- ☆ evolução secular da inclinação do eixo de rotação terrestre;
- ☆ precessão geral, que inclui os termos seculares e de grande amplitude devidos à precessão luni-solar, planetária e geodésica;



☆ nutação, que inclui as variações periódicas de curta duração e pequena amplitude.

3.1.5.2. PRECESSÃO GERAL: ROTAÇÃO DE COORDENADAS

A Terra não é uma esfera perfeita e, além disto, seu eixo de simetria está inclinada em relação ao seu plano orbital (plano da eclíptica) e ao plano orbital da Lua. A ação conjugada do Sol e da Lua no excesso de massa equatorial da Terra provoca um torque no planeta. A Figura 17 ilustra a ação de um corpo sobre o excesso de massa δM , no equador celeste.

$$F_M = F - F_1 \approx \frac{G \cdot \delta M \cdot M_L}{\left[\frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r - R_T)^2} \right]}$$

Quando $r \gg R_T$, pode - se expandir δF em série de Taylor :

$$F_M \approx G \cdot \delta M \cdot M_L \cdot \frac{2 \cdot R_T}{r^3}, \text{ que é a chamada força da maré.}$$

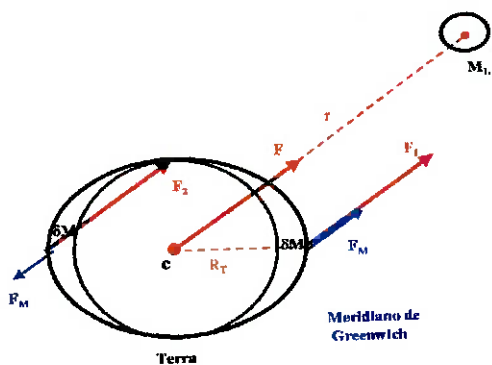


Figura 17 – Força de maré. O corpo de massa M_L atua sobre um elemento de massa δM . As forças F_1 , F_2 e F diferem devido ao fato do corpo principal ter um raio não nulo (R_T)

O torque que surge com a diferença entre as forças $F - F_1$ e $F - F_2$ faz com que o eixo de rotação gire em torno da vertical, que no caso da Terra é o eixo perpendicular à eclíptica.¹¹

A precessão também tem um efeito secular¹² nas coordenadas. Por um lado, a precessão produz uma rotação do eixo de rotação terrestre em torno do pólo da eclíptica, fazendo com que o equador celeste se mova em relação ao plano

¹¹ Este efeito de giroscópio dá origem ao fenômeno da **precessão luni-solar**.

¹² A precessão luni-solar tem um período muito superior ao período de translação da Terra e, por isto, diz-se que a precessão é um **efeito secular**.



da eclíptica. Consequentemente, a origem do sistema de coordenadas equatorial se move ao longo da circunferência definida pela eclíptica. Por outro lado, o efeito da precessão planetária é de alterar a orientação da órbita terrestre em torno do Sol em relação a um referencial fixo (neste caso, a própria eclíptica é que precessa).

O principal efeito da precessão geral é um deslocamento retrógrado do Ponto Vernal em torno do pólo da eclíptica com um período de aproximadamente 25.700 anos ou cerca de 50,4" por ano.

O efeito total da precessão geral pode ser comparado a uma série de rotações tanto da eclíptica como do equador celeste, da mesma forma que se faz quando se deseja uma transformação de coordenadas. Na prática o que se faz é uma transformação de coordenadas de uma época que tem a origem em um Ponto Vernal conhecido para o de uma outra época.

Porém, como as órbitas da Terra ao redor do Sol e da Lua ao redor da Terra não são circulares, e nem coplanares e além disso a Terra não é perfeitamente esférica, a precessão luni-polar não é o único efeito notável sobre o eixo de rotação da Terra, deve-se considerar ainda o efeito da **nutação**.

3.1.5.3. NUTAÇÃO

Diferentemente da precessão, que é um efeito secular de grande amplitude, a nutação é um oscilação de curto período e pequena amplitude em torno de uma posição média. Este efeito da nutação pode ser traduzido através de uma oscilação da longitude e da inclinação da eclíptica com período principal de cerca de 18,6 anos e amplitudes máximas de $\delta\psi=\pm 18,5''$ e $\delta\epsilon=\pm 9,8''$ respectivamente.



3.1.5.4. MOVIMENTO DO PÓLO

A Terra não é uma esfera perfeita, mas sim um **elipsóide de revolução**, conseqüentemente a direção do eixo de rotação não é exatamente a mesma que o eixo de simetria do elipsóide, então o eixo de rotação precessa em torno do eixo de simetria. Diferentemente da precessão e da nutação, este fenômeno é intrínseco da Terra, não dependendo da ação de outros astros. Este movimento é na realidade muito complexo, e seu efeito é pequeno, sendo que a distância entre o pólo definido pelo eixo de rotação instantâneo e o eixo de simetria nunca é superior a cerca de 20 metros, o que corresponde a alguns décimos de segundo de arco.

3.1.5.5. MOVIMENTO PRÓPRIO DAS ESTRELAS

Apesar de se utilizar o “termo estrelas fixas”, nenhum astro é realmente estacionário. Da mesma forma que os planetas orbitam o Sol, as estrelas também seguem suas órbitas nas galáxias. No caso da Via Láctea, uma espiral gigante, praticamente todas as estrelas orbitam em torno do centro galáctico. Este movimento orbital pode ser decomposto em duas componentes principais:

- ☆ uma órbita aproximadamente circular; e
- ☆ um movimento de direção aleatória.

Do ponto de vista de um observador no Sistema Solar, o **movimento próprio das estrelas**, μ , é uma composição entre os movimentos das estrelas e do Sol em relação a um referencial fixo, uma vez que é observado da Terra. As estrelas possuem, em geral, um movimento radial e transversal em relação ao Sol, porém, somente o movimento relativo transversal é que terá algum efeito na posição do astro.



O efeito do movimento próprio na posição aparente é pequeno devido à distância das estrelas. Por exemplo, uma estrela que tenha uma velocidade transversal de aproximadamente 50km/s e esteja a 16,3 anos-luz terá um movimento aparente de apenas 2'' por ano.

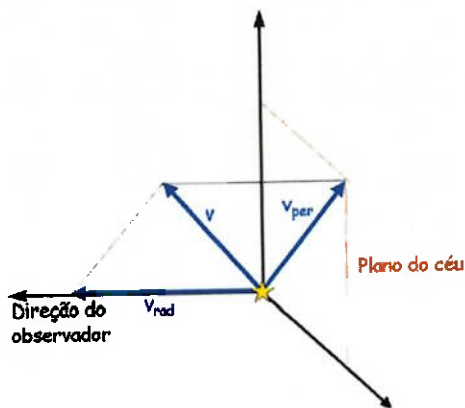


Figura 18 - Decomposição do movimento próprio.

\vec{V} é o vetor de velocidade relativa da estrela em relação ao observador, \vec{V}_{rad} é a velocidade radial e \vec{V}_{per} é a componente perpendicular, contida no plano do céu. É esta componente que corresponde a μ e altera a posição do astro na esfera celeste.

Existem cerca de 35 estrelas com movimento próprio superior a 3'' por ano, sendo a estrela de maior movimento próprio a Estrela de Barnard, com um movimento de 10,3'' por ano.

Outro efeito devido ao movimento próprio das estrelas é que a forma das constelações se altera com o tempo. Este efeito é pequeno, mas a longo prazo pode modificar substancialmente o formato das constelações.



4. SUBDIVISÕES DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO

O sistema de posicionamento e *tracking* de um telescópio pode ser dividido de dois modos diferentes, sendo o primeiro relativo às ações realizadas pelo usuário/telescópio (funções manuais) e o segundo de acordo com as funções que o *hardware* e o *software* desempenham no conjunto do sistema (função automática).

4.1. PRIMEIRO MODO - ATIVIDADES

Objetivando o conforto do usuário e a simplificação do ato de observar o céu noturno, é proposto um sistema automático de posicionamento do telescópio que possui seu funcionamento dividido em atividades que serão realizadas automaticamente ou manualmente pelo usuário.

Na tabela abaixo encontra-se uma breve descrição das atividades citadas e os responsáveis por cada uma delas.

Tabela 1 - Relação das atividades previstas para o protótipo

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL
Calibração	Entrada de parâmetros necessários à inicialização do sistema de posicionamento	Usuário
Localização	Apontamento do telescópio para o astro que se quer observar	Usuário Automático
Acompanhamento (ou <i>tracking</i>)	Acompanhamento da trajetória do astro no céu por tempo determinado pelo usuário	Automático Usuário



A definição dos responsáveis pelas ações dentro do sistema é imprescindível para o projeto, exatamente porque este é um dos fatores que irá determinar sua complexidade, e conseqüentemente seu custo. Como regra geral quanto maior o nível de automação que se quer implementar, mais complexo e mais caro será o sistema resultante.

4.2. SEGUNDO MODO - SUBSISTEMAS

A divisão do sistema principal - telescópio automático - em subsistema é baseado no modelo de Sistemas a Eventos Discretos descrito no capítulo introdutório de (MYLAGI - 96) apresentado na figura abaixo:

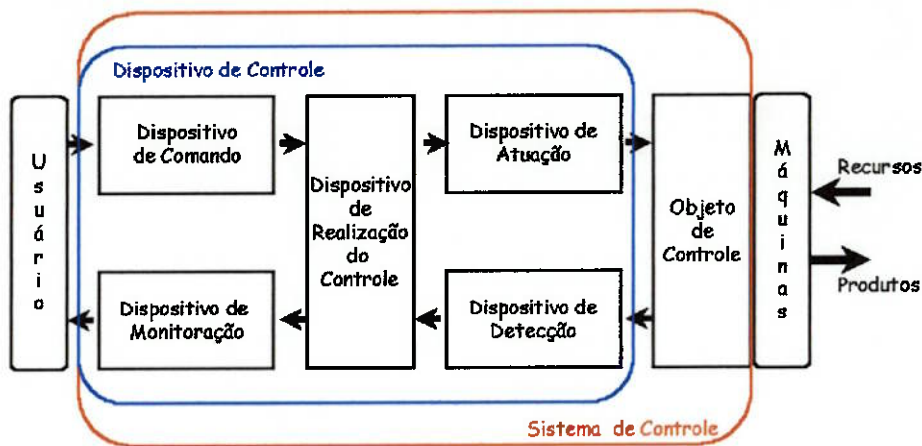


Figura 19 - Modelo de Sistemas

Assim, de acordo com este modelo, o telescópio passa a ser denominado **objeto de controle** e os elementos que se deve projetar, o **dispositivo de controle**.

Aplicando o modelo para o caso em estudo tem-se a seguinte definição dos subsistemas:



Tabela 2 - Descrição dos subsistemas previstos para o protótipo

SUBSISTEMA	DESCRIÇÃO
Comando	Responsável pela interação com o usuário. É através dele que o astrônomo amador comandará todo o funcionamento do telescópio
Controle	Subsistema que faz a transformação do comando dado pelo operador em sinais que possuem significado para o atuador
Atuação	Responsável pela realização da movimentação do telescópio para calibração, localização ou <i>tracking</i> do objeto celeste desejado
Detecção	Dispositivo de realimentação que informa ao dispositivo de realização do controle o <i>status</i> do comando que foi enviado ao subsistema de atuação
Monitoração	Responsável pela interação com usuário, mas agora com o intuito de mantê-lo informado sobre os resultados obtidos após a execução do comando dado como entrada. Num primeiro nível, a própria ocular do telescópio serve como dispositivo de monitoração, já que através dela pode-se observar um astro que foi pedido para ser localizado.



5. SELEÇÃO DO OBJETO DE CONTROLE

A seleção do objeto de controle pode ser dividida basicamente em duas partes, sendo a primeira a seleção do telescópio propriamente dita (item 5.1), e a segunda, a seleção do tipo de montagem que deverá ser projetada e construída (item 5.2). A seleção do objeto será realizada antes da apresentação dos requisitos do projeto, porque estes dependem muito do tipo de telescópio e montagem escolhidos.

5.1. TELESCÓPIOS

A seleção do tipo de telescópio a ser utilizado no protótipo tomará como base os tipos existentes de telescópios (item 5.1.1), as características físicas do instrumento (item 5.1.2), e principalmente na análise das aplicações de cada tipo de telescópio segundo suas características mais notáveis (item 5.1.3).

5.1.1. TIPOS DE TELESCÓPIO ¹³

Os telescópios podem ser divididos com base no princípio óptico que possuem: telescópios **refratores**, **refletores** e **catadióptricos**. Cada um deles tem vantagens e desvantagens, aos quais deve-se avaliar de acordo com as funções que se espera deles e o tipo de montagem que se pretende usar.

Neste item estão descritos os principais tipos de telescópios, dentro de cada uma das três ópticas mencionadas, que se podem encontrados nas lojas especializadas e junto

¹³ A descrição de funcionamento óptico dos diversos tipos de telescópios foram retirados do site: <http://sites.uol.com.br/telescopios/>. Já as vantagens e desvantagens para cada um dos três principais grupos foram obtidas como uma coletânea de diversas referências.



aos construtores de kits ópticos nacionais. Outros tipos de telescópios, menos comuns, estão descritos no Apêndice A.

5.1.1.1. REFRATORES

Princípio Óptico:

O telescópio refrator utiliza o **princípio da refração luminosa**. Este instrumento possui uma lente objetiva que capta a luz dos objetos, e forma a imagem no foco. Logo atrás, existe uma segunda lente chamada de ocular. A ocular funciona como uma lupa, aumentando a imagem formada pela objetiva.

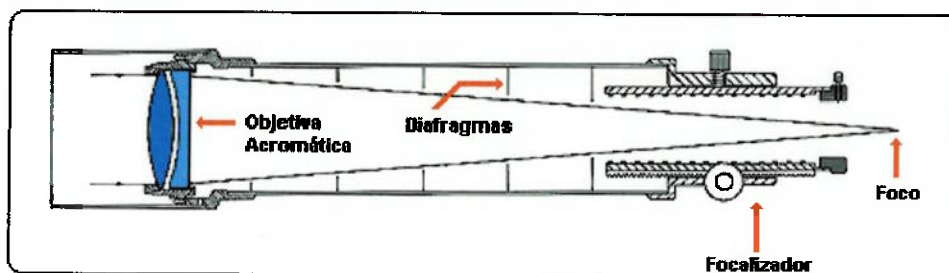


Figura 20 - Princípio de um Refrator

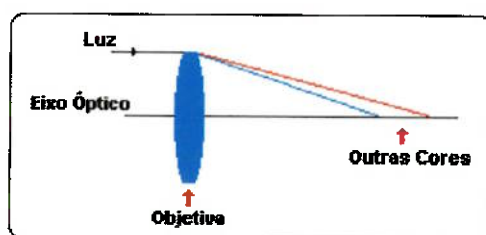


Figura 21 - Aberração cromática

O telescópio refrator, também conhecido como **luneta**, foi aperfeiçoado pelo astrônomo e físico Galileu Galilei no ano de 1610. O telescópio utilizado por Galileu era um instrumento de pequenas dimensões e constituído por uma **objetiva cromática**¹⁴. Este tipo de objetiva apresenta

um grave problema: a **aberração cromática**, isto é, as diferentes cores que formam a luz branca são decompostas, fazendo com que os diferentes componentes cromáticos, interceptem o eixo óptico da objetiva em pontos diferentes. Assim um observador

¹⁴ Objetiva cromática: objetiva formada por uma única lente convergente.



que utiliza este tipo de instrumento, irá perceber algumas manchas coloridas em volta dos astros observados.

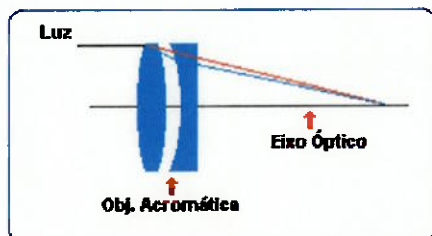


Figura 22 - Objetiva acromática

Para diminuir um pouco os efeitos da aberração cromática os construtores de telescópios começaram a produzir objetivas com distâncias focais extremamente grandes, pois a medida que aumentamos a distância focal as diferentes cores que compõem a luz branca encontram o eixo óptico em pontos mais próximos. Os telescópios refratores só começaram a atingir as dimensões atuais com a invenção da objetiva acromática.

Vantagens dos Refratores:

- ☆ refratores de todos os tipos são rígidos;
- ☆ requerem pouca ou nenhuma manutenção;
- ☆ possuem tubos fechados que o protegem da poeira e reduzem a degradação da imagem causada por correntes de ar;
- ☆ oferece imagens nítidas e de alto contraste para uma determinada abertura.

Desvantagens dos Refratores:

- ☆ têm abertura pequena, tipicamente entre 60 e 120mm, o que para muitos propósitos astronômicos ainda é muito pouco: objetos pouco luminosos como galáxias e nebulosas irão aparecer como fracos borrões, quando forem detectados;
- ☆ normalmente exige um espelho ou prisma diagonal na ocular para tornar a observação mais confortável. Isto torna a imagem espelhada, o que dificulta a comparação com as cartas celestes;
- ☆ um bom refrator custa mais por centímetro de abertura do que qualquer outro tipo de telescópio.



5.1.1.2. REFLETORES - NEWTONIANO

Princípio Óptico:

O telescópio newtoniano possui como objetiva um espelho côncavo, chamado de **espelho primário**, localizado na parte inferior do tubo. O espelho primário capta a luz dos objetos, formando a imagem no foco. Pouco antes do foco existe um outro espelho de proporções menores e de superfície plana, chamado de espelho secundário. Localizado na parte posterior do tubo, o secundário é sustentado por um suporte de três hastes chamado de aranha.

Este espelho apresenta uma inclinação de 45° em relação ao eixo óptico do sistema, refletindo os raios luminosos para a lateral do tubo. Nesta posição encontra-se a lente ocular com o dispositivo de focalização.

No ano de 1672, o físico inglês Isaac Newton inventou um novo tipo de telescópio, que mais tarde ficou conhecido como telescópio Newtoniano. Como os refratores apresentavam o grave problema da aberração cromática, Newton sugeriu a utilização de um espelho côncavo no lugar de uma lente objetiva. Os raios luminosos refletidos pela superfície do espelho não são decompostos, pois não passam por um meio mais denso como de uma lente, eliminando assim a aberração cromática.

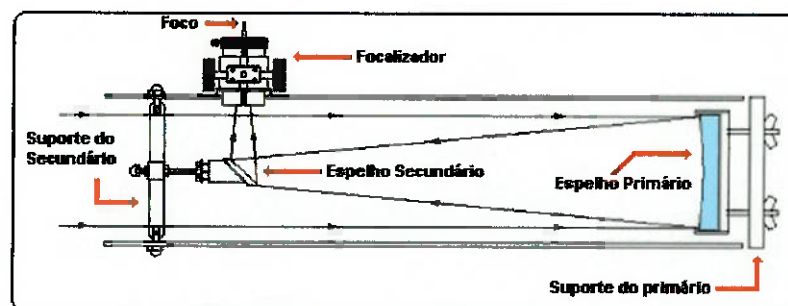


Figura 23 – Princípio de um Newtoniano



Além de apresentar ótimas imagens, o newtoniano apresenta uma dimensão bem mais reduzida se comparado com os refratores.

Exemplo :

Enquanto um refrator de 150 mm de diâmetro possui uma distância focal de 2000 mm, um Newtoniano de mesmo diâmetro possui uma distância focal de apenas 1100 mm.

Vantagens dos Newtonianos:

- ☆ oferece a maior relação custo-benefício em relação a abertura;
- ☆ a qualidade ótica é normalmente bastante alta;
- ☆ contêm um numero par de espelhos (dois), o que torna a imagem não invertida;
- ☆ é improvável que a umidade se condense nos espelhos em noites frias;
- ☆ montagem pequena e baixa, próxima ao chão (estabilidade) enquanto a ocular ainda fica numa altura conveniente.

Desvantagens dos Newtonianos:

- ☆ exigem mais cuidados e manutenção;
- ☆ o tubo é aberto ao ar, o que significa poeira nos espelhos, mesmo que o tubo seja guardado envolto em capas apropriadas (embora uma quantidade moderada de poeira nos espelhos não afete a performance do telescópio);
- ☆ os espelhos precisam de ajustes ocasionais para mantê-los perfeitamente alinhados;
- ☆ até que o telescópio fique com a mesma temperatura do ar circundante, durante a observação é provável que correntes de ar embacem a imagem.



5.1.1.3. CATADIÓPTRICOS

5.1.1.3.1. SCHMIDT-CASSEGRAIN

Este tipo de óptica foi desenvolvida para eliminar aberrações esféricas existentes nos espelhos primários.

De forma geral, espelhos de distâncias focais pequenas, devem apresentar uma superfície parabólica para não ter aberração esférica, porém, no telescópio Schmidt o espelho principal possui uma superfície esférica, e quem corrige a aberração esférica é um disco de vidro colocado na parte posterior do tubo.

Este componente é chamado de *placa corretora*, que é de difícil construção, exigindo grande precisão em ambas as superfícies (principalmente a superfície interna que apresenta uma formato característico de difícil configuração) e vidros de alta qualidade para a sua confecção.

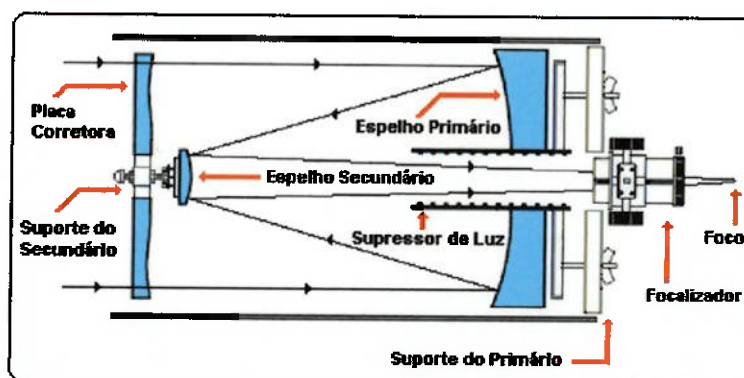


Figura 24 - Princípio de um Schmidt-Cassegrain



Vantagens dos Catadióptricos:

- ☆ Menores distâncias focais (portabilidade);
- ☆ acompanhamento mais confiável;
- ☆ Astrofotografia menos difícil (nunca é fácil);
- ☆ alguns podem ser adquiridos com sistema automático de apontamento.

Desvantagens dos Catadióptricos:

- ☆ imagem um pouco menos nítida do que a imagem formada por um bom refletor de mesma abertura;
- ☆ custo de um SC é maior do que o de um bom refletor de mesma abertura.;
- ☆ um espelho ou prisma diagonal é normalmente usado na ocular para oferecer uma posição de observação mais confortável (imagem fica de cabeça para baixo e espelhada);
- ☆ mecanismo de focalização é muito delicado e impreciso.

5.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS TELESCÓPIOS

As possibilidades de uso de uma luneta ou telescópios estão associadas essencialmente à sua *abertura* (D), ou seja, ao diâmetro da sua objetiva (lente ou espelho principal) e à distância focal (F) desta objetiva. A abertura determina o brilho e a definição de tudo que irá ser observado, mas não define sozinha a avaliação de performance de um telescópio.



5.1.2.1. AUMENTO ¹⁵

O aumento é a relação focal entre o tamanho de um objeto observado a olho nu e o seu tamanho quando visto pelo telescópio.

O aumento a ser utilizado por um instrumento com o mesmo diâmetro de abertura vai depender do tipo de astro a ser observado e da qualidade do lugar da observação (transparência do céu e agitação da atmosfera). Os aumentos aplicáveis aos instrumentos são os seguintes:

Aumento: aumento que um telescópio possui de acordo com a ocular utilizada:

$$A = \frac{F}{f}$$

onde: F = distância focal da objetiva do telescópio

f = distância focal da ocular

Aumento Mínimo: é conveniente para a observação de nebulosas difusas e relaciona-se com a abertura da seguinte maneira:

$$A_{min} = \frac{D_{[mm]}}{7}$$

Aumento Normal: permite distinguir todos os detalhes acessíveis ao instrumento:

$$A_{nor} = D_{[mm]}$$

Aumento Médio: é o aumento mais aconselhável para aqueles que desejam observar os detalhes planetários:

$$A_{med} = 1,5.D_{[mm]}$$

¹⁵ Trecho retirado de (MOURÃO - 95)



Aumento Máximo Útil: determina a maior ampliação que um telescópio pode oferecer sem prejudicar a qualidade das imagens. Seu uso é aconselhável para a observação das estrelas duplas e astros de brilho mais elevados:

$$A_{max} = 2,5 \cdot D_{[mm]}$$

5.1.2.2. PODER SEPARADOR ¹⁶

O poder separador ou poder de resolução é a propriedade que um telescópio tem de isolar e tornar visível detalhes muito sutis. Esta característica não depende do aumento, e sim do diâmetro da objetiva do instrumento. Quanto maior o diâmetro da objetiva, maior será o poder separador, e portanto, mais detalhes poderão ser vistos nas superfícies dos planetas e estrelas duplas “mais próximas”.

$$PS_{[sec. de arco]} = \frac{120}{D_{[mm]}}$$

5.1.2.3. MAGNITUDE LIMITE

A magnitude limite indica o menor brilho (maior valor de magnitude aparente) que um telescópio pode captar. Esta é uma propriedade ligada diretamente ao diâmetro do instrumento, isto é, quanto maior a objetiva menor será o brilho limite observável de uma estrela. Contudo, esta relação não é linear, observe:

$$M_{lim} = 7,5 \cdot (\log_{10} D_{[cm]})$$

Esta característica é uma das mais importantes dos telescópios, justamente porque é a magnitude que define o verdadeiro limite do instrumento. Devido a isso, os

¹⁶ Informações retiradas do site: <http://sites.uol.com.br/telescopios/pagina16.html>



astrônomos se utilizam de telescópio cada vez maiores, alguns atingindo até 10m de diâmetro.

5.1.2.4. LUMINOSIDADE

A luminosidade é a quantidade de luz que um telescópio pode captar, e quanto maior o diâmetro da objetiva, mais luminoso será o instrumento. Um telescópio para ser luminoso deve também apresentar uma distância focal pequena, para trabalhar com pouco aumento tornando as imagens nítidas e brilhantes.

A *razão focal* F/D é a relação existente entre a distância focal e o diâmetro da objetiva, e quanto menor a razão focal, maior será a luminosidade do telescópio.

5.1.2.5. CAMPO VISUAL

O campo visual representa a área aparente do céu quando observada pelo telescópio. Esta propriedade varia de acordo com o aumento e o tipo de ocular utilizada e é indispensável nas observações de objetos mais extensos, como cometas, nebulosas, galáxias e aglomerados estelares. O campo visual pode ser obtido através da fórmula:

$$CV_{[\text{graus}]} = \frac{CO_{[\text{graus}]}}{A}$$

onde: CO = campo visual da ocular utilizada, em graus

A = aumento dado pela ocular

Apesar da óptica dos telescópios ser muito importante para uma boa observação, se a montagem não for rígida o suficiente, o menor balanço será ampliado e nada poderá ser observado, independente do aumento utilizado.



5.1.3. ANÁLISE DOS TELESCÓPIOS SEGUNDO SUA APLICAÇÃO ¹⁷

Na tabela abaixo tem-se os vários tipos de observação que um astrônomo amador poderá realizar em relação aos diversos tipos de instrumentos (levando em conta naturalmente, suas limitações):

Tabela 3 - Funções e utilização dos diversos telescópios

TIPO DE INSTRUMENTO	APLICAÇÕES
Binóculo de 6x40 a 10x80	Observação geral e acompanhamento de eventos tais como eclipses da Lua, luz cinzenta, ocultação de planetas ou estrelas brilhantes pela Lua, cometas, aglomerados estelares, nebulosas e satélites artificiais. Descobertas de cometas e estrelas novas
Lunetas terrestres de diâmetro inferior a 50mm montadas sobre um tripé	Em geral, impróprias para a observação celeste, salvo se a sua ocular terrestre puder ser substituída por uma astronômica
Refratores ou refletores de alta relação focal	Devido ao bom contraste e excelente resolução permitem uma ótima observação dos planetas, da Lua e das estrelas binárias cerradas
Refletor de grande abertura	Indicado para as pessoas que quiserem se dedicar à observação de objetos pouco luminosos tais como as galáxias e as nebulosas
Refletor do tipo Schmidt-Cassegrain de grande abertura (200mm) e Newtonianos de abertura entre 6" e 8"	Contemplação do céu e observação de estrelas variáveis e estrelas duplas. Muito útil para pessoas que não possuem um interesse específico e estão iniciando o estudo da Astronomia

¹⁷ Informações retiradas de (MOURÃO - 95) pg. 35 e do site:

www.cdcc.sc.usp.br/telescopios/escolhendo/index-gra.html



5.1.4. SELEÇÃO DO TELESCÓPIO

O desenho de um mecanismo posicionador de telescópio, como o que se quer projetar, possui dois pontos críticos que não podem ser esquecidos nesta etapa de definição de parâmetros de projeto, e são eles:

- ☆ precisão do equipamento *versus* complexidade de construção;
- ☆ nível de vibração admissível do telescópio causado pelo acionamento dos motores durante as atividades de apontamento e *tracking*

A questão da precisão de posicionamento do telescópio será tratada no item 8, enquanto que a questão da vibração será levada em conta quando da escolha do tipo de montagem a ser construída para sustentar todo o sistema (item 5.2.2).

Porém, apesar destes elementos serem muito importantes na definição do sistema a ser projeto, não são levados diretamente em conta na seleção do tipo de telescópio a ser utilizado. Como já foi levantado no início deste capítulo, para esta seleção o que será levado em conta, além do custo do equipamento, suas características físicas e a aplicação que será dada ao sistema.

O protótipo destina-se àquelas pessoas que possuem interesse pelos assuntos astronômicos, mas não possuem quase nenhum conhecimento na área. Assim, o telescópio a ser selecionado deverá ter uma aplicação mais geral. Da Tabela 3, conclui-se que poderão ser utilizados telescópios do tipo **Newtoniano** ou **Schmidt-Cassegrain**.

Através de uma breve pesquisa de preço dentro os modelos comerciais de Newtonianos e Schmidt-Cassegrains, notou-se que ficaria muito caro comprar um telescópio (de qualquer uma das duas ópticas selecionadas) das marcas mais procuradas no mercado (Meade e Celestron). Dessa forma, preferiu-se utilizar no protótipo kits de



montagem preparados por construtores nacionais¹⁸. Junto a um desses construtores foi possível encontrar os seguintes kits de montagem:

Tabela 4 – Kits para construção de telescópios

KIT	PREÇO
kit 1 - newtoniano de 135 mm	R\$ 260,00
kit 2 - newtoniano de 180 mm	R\$ 340,00
kit 3 - newtoniano de 230 mm	R\$ 800,00
kit 4 - cassegrain de 180 mm	R\$ 500,00
kit 5 - cassegrain de 230 mm	R\$ 1200,00

De acordo com os valores apresentados pelo construtor, a óptica Newtoniana, mais simples e barata foi a escolhida. Porém, é preciso escolher ainda qual dos kits (1, 2) será utilizado no protótipo. Para isso, as características físicas dos dois telescópios foram analisadas:

Kit 1 – Newtoniano de 135mm

- ☆ diâmetro da objetiva: 135mm
- ☆ distância focal: 1260mm
- ☆ aumento máximo: 450x
- ☆ aumento mínimo: 19,3x
- ☆ razão focal: 7,0
- ☆ poder de separação: 0,7 segundos de arco
- ☆ magnitude limite: 13,4

Kit 2 – Newtoniano de 180mm

- ☆ diâmetro da objetiva: 180mm
- ☆ distância focal: 1000mm
- ☆ aumento máximo: 337,5x
- ☆ aumento mínimo: 19,3x
- ☆ razão focal: 7,4
- ☆ poder de separação: 0,9 segundos de arco
- ☆ magnitude limite: 12,8

¹⁸ Construtor: Sebastião Salgado Filho: <http://sites.uol.com.br/telescopios>



Sabendo que um telescópio que possui maior diâmetro de espelho principal (objetiva), devido a maior área de captação de luminosidade, fornece melhores imagens, e a diferença de preço entre os kits 1 e 2 ser pequena, foi escolhido o **kit 2** para a construção do protótipo.

O kit escolhido é composto pelos espelhos e ocular, para a construção dos outros elementos deverão ser utilizados materiais baratos, tais como tubos de PVC, madeira e tinta para acabamento, de acordo com as informações detalhadas fornecidas no manual de construção.

Elementos do Kit:

- ☆ espelho primário de 180mm
- ☆ espelho secundário plano
- ☆ ocular tipo Ramsdem de 12mm de distância focal
- ☆ suporte do espelho principal
- ☆ suporte do espelho secundário (aranha)
- ☆ tubo focalizador deslizante



5.2. MONTAGEM

5.2.1. TIPOS DE MONTAGEM

A montagem do telescópio é a estrutura destinada a sustentação do tubo e os demais acessórios ópticos que compõem o telescópio.

Um iniciante que adquire seu primeiro telescópio se preocupa em possuir um instrumento que apresente boas imagens e principalmente um grande aumento, deixando de lado este componente muito importante.

Uma montagem que apresenta uma estrutura muito leve faz com que qualquer toque ou mesmo uma leve brisa transmita uma vibração que pode persistir por alguns segundos prejudicando a visão dos objetos. Uma boa montagem deve apresentar uma estrutura forte, robusta e proporcional às dimensões do tubo. Além disso, a montagem deve apresentar a característica de minimizar as vibrações que podem ser causadas pelo movimento do telescópio, vento ou outras perturbações.

5.2.1.1. MONTAGENS AZIMUTAIS

5.2.1.1.1. MONTAGEM TIPO ALTAZIMUTAL

Trata-se do tipo de montagem mais simples e barata. Nesta montagem o telescópio gira em torno de um eixo vertical que faz com que o tubo realize um movimento paralelo ao horizonte.

A montagem apresenta também um outro eixo na posição horizontal que permite um movimento de altura. Esse tipo de estrutura normalmente é montada sobre um tripé simples, o que a torna uma montagem leve e de fácil manuseio.

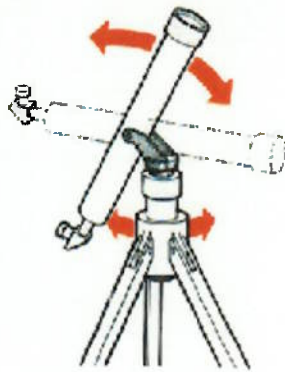


Figura 25 - Esquema da montagem Altazimutal

Entretanto, este tipo de montagem apresenta algumas limitações para fins astronômicos pois ela não acompanha o movimento aparente dos astros (provocado pela rotação da terra). Para acompanhar um determinado astro e mantê-lo centralizado no campo de visão, é preciso acionar ambos os movimentos, o que não resulta em grande precisão de apontamento.

5.2.1.1.2. MONTAGEM TIPO DOBSONIANA

A montagem Dobsoniana pertence a família das montagens azimutais. Este tipo de montagem se caracteriza por apresentar uma construção muito fácil e de baixo custo se comparado com outras montagens.

Apesar de ser uma montagem simples, a dobsoniana possui uma estrutura forte e robusta que pode suportar ópticas de grande diâmetro. A grande base em forma de disco permite a esta estrutura um movimento suave que não provoca vibrações que atrapalham as observações. Além disso, por não possuir um tripé, essa montagem apresenta proporções pequenas, o que a torna uma estrutura mais compacta e portanto, fácil de ser transportada.



Figura 26 – Exemplos de montagem dobsoniana



5.2.1.2.

MONTAGEM EQUATORIAL

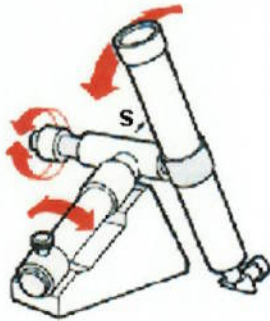


Figura 27 - Esquema da montagem Equatorial

A montagem equatorial também apresenta dois eixos ortogonais entre si, ou seja, formando um ângulo de 90 graus. Um desses eixos chamado de *eixo de ascensão reta ou polar*, é posicionado de forma paralela ao eixo de rotação da Terra, permitindo assim o acompanhamento dos astros por meio de um único movimento.

O outro eixo chamado de *declinação* é colocado perpendicularmente ao eixo polar. Esse tipo de montagem apresenta uma construção bem mais complexa que a azimutal pois exige grande precisão nos eixos, no sistema de engrenagens e motorização responsáveis por um preciso acompanhamento.

A montagem deve ser sustentada por uma estrutura bem robusta e pesada como tripés apropriados ou mesmo pedestais fixados ao solo. Para funcionar corretamente a montagem deve apresentar um posicionamento preciso, com o eixo polar voltado para o ponto cardinal sul (para os países do hemisfério sul) e com a inclinação correspondente com a latitude no local. Esta montagem também trabalha com círculos graduados (ascensão reta e declinação) que permitem fazer a localização de objetos por meio de coordenadas



5.2.1.2.1. MONTAGEM EQUATORIAL ALEMÃ

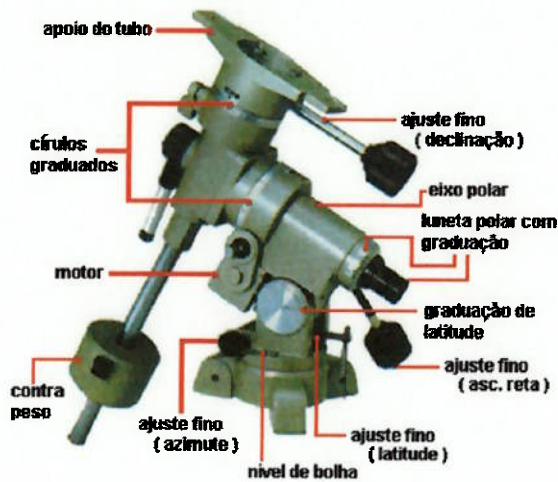


Figura 28 - Partes de uma montagem Equatorial Alemã real

Esta estrutura possui o eixo polar que é posicionado paralelamente ao eixo de rotação da terra. Em seguida temos o eixo de declinação colocado perpendicularmente em uma das extremidades do primeiro eixo. O tubo do telescópio é fixado em uma das extremidades do eixo de declinação, sendo que no outro extremo deste eixo é colocado um contra-peso para manter o equilíbrio de todo o sistema.

5.2.1.2.2. MONTAGEM TIPO FORQUILHA



Figura 29 - Esquema da montagem tipo Forquilha

A montagem forquilha também é muito utilizada em observatórios e por amadores. Esta montagem possui uma estrutura de dois braços semelhante a letra "U" e o tubo do telescópio é colocado entre estes braços. Na base dessa forquilha encontra-se o eixo polar com a inclinação compatível com a latitude local. Esta montagem pode ser montada em tripés ou em estruturas mais robustas e pesadas como é o caso da montagem chamada disco polar representada no esquema ao lado.



5.2.1.2.3. MONTAGEM TIPO CHASSI

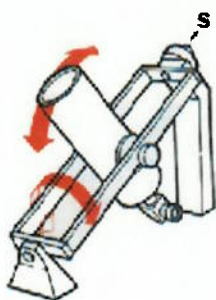


Figura 30 - Esquema da montagem tipo Chassi

A principal característica da montagem equatorial tipo chassi, são dois braços paralelos entre si responsáveis pela sustentação de toda a óptica. O tubo é colocado entre os dois braços realizando o movimento de declinação. Nas extremidades dos braços encontramos as estruturas que proporcionam à montagem a inclinação necessária para que o movimento de acompanhamento se processe de forma correta. Por ser uma montagem pesada, complexa e de

grandes dimensões se comparada com a alemã, a montagem tipo chassi é encontrada com frequência em observatórios, sendo pouco popular entre os amadores.

5.2.1.2.4. MONTAGEM TIPO BERÇO



Figura 31 - Esquema da montagem tipo Berço

A montagem equatorial tipo berço possui muitas semelhanças com a montagem em chassi. Esta montagem também possui os mesmos braços que suportam o tubo e os componentes ópticos.

A principal diferença é que este tipo de montagem possibilita a observação de astros próximos ao pólo celeste. Na montagem tipo chassi, os dois braços são separados por uma barra que impede o usuário de apontar o telescópio para a região polar.

Este problema foi resolvido na montagem tipo berço com a colocação de uma barra com forma semelhante a uma ferradura na extremidade superior dos braços.



5.2.2. SELEÇÃO DA MONTAGEM

O problema proposto tem como intenção tornar a localização e acompanhamento de astros automáticos e simplificar as operações feitas pelo usuário. Assim sendo, a escolha será feita visando a montagem mais simples de ser construída mas que atenda os objetivos do projeto. Por isso descarta-se o uso das montagens que exigem o alinhamento de um eixo do telescópio com o eixo de rotação da terra ou dependam da latitude do local de observação (montagens equatoriais). Como mostrado no item 5.2.1.2, estas necessidades visam facilitar o acompanhamento dos astros, porém como este será automático, não há a necessidade de se utilizar estes tipos de montagens mais complicadas de se construir.

Opta-se por uma montagem azimutal em que dois motores acoplados nos eixos fariam o acompanhamento e localização do astro.

Dentre as montagens azimutais, a que melhor atende as requisitos do projeto é a **dobsoniana**. Para as dimensões do telescópio selecionado, é necessária uma montagem mais estável e robusta, que além de suportar o peso do telescópio, possa absorver as vibrações causadas por vento ou interferências acidentais. Outro fator a ser considerado é que numa montagem altazimutal é impossível ao telescópio percorrer toda a abóbada celeste, sem a interferência do usuário. Há uma limitação física no giro ao redor do eixo horizontal, enquanto que na dobsoniana, dependendo da forma que é concebida, o telescópio pode girar de 0 a 180° ao redor do eixo horizontal.



6. FORMULAÇÃO DO PROJETO

6.1. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

6.1.1. FUNCIONAIS

Desempenho:¹⁹

- ☆ localizar e acompanhar a trajetória dos seguintes corpos celeste:
 - *planetas*: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter, Saturno, Netuno e Urano
 - *estrelas*: com magnitude limite de até 12,0

Segurança:

- ☆ campo de movimentação do telescópio:
 - movimento em altura: -90° a $+90^{\circ}$ (tubo do telescópio na vertical corresponde à posição de 0°)
 - movimento azimutal: 0° a 360°

6.1.2. OPERACIONAIS

Vibração:

- ☆ a imagem formada deve ser nítida durante o acompanhamento da trajetória do corpo celeste

¹⁹ O projeto não prevê a utilização do protótipo para Astrofotografia, assim, a precisão dada, tanto no apontamento quanto no acompanhamento, deverá ser suficiente para que se possa observar objetos celestes e acompanhá-los sem dificuldade.



Comandos manuais:

- ☆ sistema deverá permitir que o usuário ajuste manualmente a posição do telescópio depois da localização automática do astro desejado, isto é, durante a atividade de acompanhamento do astro

6.1.3. CONSTRUTIVAS

Detalhes Construtivos:

- ☆ diâmetro do tubo do telescópio: 200 mm
- ☆ comprimento máximo do tubo do telescópio: 1,3 m
- ☆ peso máximo do conjunto (telescópio + montagem): 15 kg
- ☆ peso máximo do tubo do telescópio: 8 kg

6.2. ENTRADAS E SAÍDAS

Através das informações obtidas na revisão bibliográfica e na observação de projetos comerciais, levantou-se as entradas e saídas para o sistema de controle em questão. As **entradas e saídas desejadas** estão descritas levando em conta a divisão em subsistemas definidas no item 4.2.

Entradas Desejadas:

- ☆ escolha de estrelas de calibração que estejam no céu durante o período de observação
- ☆ comando dos atuadores por comando manual até a primeira estrela de calibração e confirmação de posição calibrada
- ☆ comando dos atuadores por comando manual até a segunda estrela de calibração e confirmação de posição calibrada



- ☆ escolha de astros para localização e acompanhamento que estejam no céu durante o momento da observação

Saídas Desejadas:

- ☆ cálculo dos parâmetros de calibração para que a localização e acompanhamento ocorram de forma correta
- ☆ atuadores devem responder ao comando de movimentação feito pelo usuário ou pelo controle automático a qualquer momento

Entradas Indesejadas:

- ☆ escolha de estrelas de calibração ou para localização que não estejam no céu no momento da observação
- ☆ vibrações ou movimentações bruscas do conjunto causadas por elemento externos ao sistema de controle
- ☆ vibrações não amortecidas pela estrutura causada durante a movimentação manual ou automática do telescópio durante qualquer uma das atividades
- ☆ entrada de coordenadas fora do campo de movimentação do telescópio

Saídas Indesejadas:

- ☆ movimentação do telescópio fora de seu campo de atuação
- ☆ imagem do corpo celeste de interesse como um borrão resultado da vibração do telescópio
- ☆ corpo celeste de interesse fora do campo de visão depois de uma localização automática ou acompanhamento da trajetória



7. SÍNTESE DE SOLUÇÕES

7.1. LEVANTAMENTO DAS OPÇÕES

Dispositivo de Comando:

- ☆ Joystick
- ☆ Botões (direcionais / seleção de atividades)
- ☆ Teclado de um computador
- ☆ Receptor para comando de voz

Dispositivo de Controle:

- ☆ Computador portátil
- ☆ Palm Top
- ☆ Microcontroladores
- ☆ PLCs

Dispositivo de Atuação:

- ☆ Dispositivos mecânicos
- ☆ Atuador magnético
- ☆ Atuador pneumático
- ☆ Motores elétricos:
 - corrente alternada
 - corrente contínua
 - motores de passo

Dispositivo de Detecção (posição angular):

- ☆ Potenciômetros



- ☆ Encoders absoluto
- ☆ Encoders relativo
- ☆ Encoders em quadratura

Sistema de Transmissão:

- ☆ Rodas de atrito
- ☆ Polias
- ☆ Correias dentadas
- ☆ Engrenagens

7.2. DESCRIÇÃO DAS OPÇÕES

Estando o projeto estruturado na forma de subsistemas, a descrição de cada uma das opções encontradas será feita de forma independente para cada subsistema. Dessa forma, as possíveis soluções para o sistema de controle do telescópio serão formadas através de combinações das opções consideradas realizáveis para cada um dos dispositivos.

7.2.1. DISPOSITIVOS DE COMANDO E CONTROLE

7.2.1.1. COMPUTADOR PORTÁTIL

Uma solução para o dispositivo de controle e comando do protótipo é a utilização de um computador portátil (*Laptop*) em conjunto com um controle manual (pode ser o próprio teclado do computador), que serviria como a interface manual do sistema, através do teclado o usuário seria capaz de mover os atuadores diretamente. O computador seria responsável pelos comandos “automáticos” do sistema. Através de um banco de dados com as informações de posicionamento dos astros e algoritmos de



cálculos astronômicos, o computador passa e recebe do *driver* dos atuadores informações sobre os movimentos. Neste modelo a interface com o usuário é feita através da tela do próprio computador.

As vantagens deste tipo de arquitetura é a possibilidade de se atualizar os bancos de dados e algoritmos de cálculo astronômicos, devido por exemplo, a vontade do usuário de aumentar o número de astros localizáveis pelo telescópio e também de realizar as modificações periódicas necessárias ao banco de dados de posição referência dos astros devido a fenômenos como a precessão, a nutação e o movimento relativo dos astros (item 3.1.5).

A maior desvantagem está na justamente na falta de autonomia do sistema, isto é, a utilização do equipamento ficará ligada à duração da bateria do computador portátil ou a necessidade de se utilizar uma extensão.

7.2.1.2. DATA BASE EMBARCADA

Nesta configuração, o banco de dados de referência e os algoritmos para acompanhamento e localização estão gravados numa E2PROM em conjunto com um circuito de *hardware* dedicado, onde não haveria a necessidade de se utilizar um microcomputador para a realização do comando dos atuadores ou interpretação dos sinais dos sensores. O controle seria realizado pelo *hardware* composto de um microcontrolador, de uma memória externa, do *driver* dos motores e, se preciso, da interface dos sensores, além do controle remoto que permite o comando manual do sistema. Para este caso, a interface do sistema com o usuário deveria ser realizada através de um *display* do tipo LCD e de botões de comando no próprio controle remoto.



Apesar deste modelo corrigir o problema de autonomia ligada à utilização do *Laptop*, ele possui a desvantagem de restringir a atualização do sistema de controle ou do próprio banco de dados de referência.



7.2.2. DISPOSITIVOS DE ATUAÇÃO

7.2.2.1. MOTORES

Os motores elétricos são mais adequados a este tipo de aplicação tanto pelas características físicas do sistema quanto a forma de alimentação disponível (descarta-se por exemplo atuadores pneumáticos). A seguir são apresentadas as características mais relevantes dos motores elétricos.

Motores de Corrente Alternada:

- ☆ campo magnético criado por indução;
- ☆ trabalha com alta rotação (em torno de 1800 rpm para cima);
- ☆ necessidade de redutores;
- ☆ não possui auto-travamento.

Motores de Corrente Contínua:

- ☆ dimensões reduzidas;
- ☆ aplicações em sistemas de controle;
- ☆ aplicações para controle de posição e velocidade;
- ☆ necessita manutenção;
- ☆ trabalha com elevado torque a velocidades altas e baixas.
- ☆ não possui auto-travamento;
- ☆ baixo custo;
- ☆ facilmente controlado;
- ☆ necessidade de utilizar realimentação para o controle de posição angular.

Motores de Passo:



- ☆ dimensões reduzidas;
- ☆ sem necessidade de manutenção;
- ☆ perdas excessivas em alta velocidade;
- ☆ fornece auto-travamento com corrente fluindo;
- ☆ baixo custo;
- ☆ pode ser usado em malha aberta pois o número de passos é controlado;
- ☆ trabalha melhor em aplicações que exijam alto torque a velocidades baixas.

7.2.2.2. TRANSMISSÕES

7.2.2.2.1. RODAS DE ATRITO

Nesta forma de transmissão, a força tangencial é transmitida de uma roda em contato direto com outra por meio de atrito. Em um sistema de rodas de atrito é necessária a existência de um esforço de compressão entre uma roda e outra para poder obter o atrito necessário, que também depende do material da superfície das duas rodas.

As rodas de atrito são de simples construção, é possível se obter altas relações de transmissão e têm um baixo custo se comparada as demais formas de transmissão. Porém, só são utilizadas quando um eventual deslizamento não prejudicar o funcionamento do dispositivo e também quando a relação de transmissão não precisar ser rigorosamente constante (dependendo do tipo de construção poderá variar).

7.2.2.2.2. POLIAS

Este tipo de transmissão é feito por aderência entre a correia e as polias. As polias são montadas em eixos que devem estar afastados e ligadas por meio de uma correia que deve estar sujeita a uma tensão inicial para garantir a aderência necessária. É uma montagem simples, não é necessária a lubrificação e é fácil de ser desacoplada para



utilização em outro par de polias caso seja desejado alterar a relação de transmissão. Um inconveniente de se utilizar polias e correias é que a relação de transmissão é limitada, para alguns tipos de correia recomenda-se que não seja superior a 8.

7.2.2.3. CORREIAS DENTADAS

Esta transmissão é feita de forma semelhante às polias e correias possuindo as mesmas características, mas neste caso a correia e as polias estão em contato por engrenamento dos dentes e não é necessária a tensão inicial, fazendo com que a transmissão não esteja relacionada ao atrito entre correia e polias.

7.2.2.4. ENGRENAGENS

A transmissão é feita entre duas rodas dentadas cujos dentes estão engrenados e entram em contato sucessivamente, fazendo com que a roda motriz arraste a roda conduzida. O perfil dos dentes é projetado de forma a garantir que a relação de transmissão seja estritamente constante e não haja deslizamento entre as rodas. Isto faz com que a forma da engrenagem seja mais complexa, tornando sua construção mais difícil e onerosa. A caixa que contém as engrenagens precisa garantir a proteção a poeira e manter as rodas dentadas lubrificadas.

7.2.3. DISPOSITIVOS DE DETECÇÃO

Sensores são importantes elementos em qualquer aplicação que envolva a medição de grandezas e/ou automação de funções pois são responsáveis por converter algum tipo de fenômeno físico em uma grandeza mensurável.

No caso do protótipo a grandeza que se quer medir é a posição angular dos dois eixos do telescópio, o eixo azimutal e o de altura.



7.2.3.1. POTENCIÔMETROS

O potenciômetro se utiliza de um resistor variável para converter um ângulo ou posição (linear) em uma relação resistência/tensão. Dessa forma, movendo o eixo de um potenciômetro produz-se uma tensão proporcional a sua posição.



Figura 33 - Potenciômetro rotativo

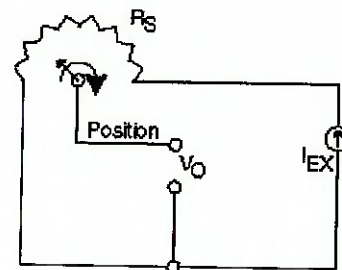


Figura 32 - Esquema elétrico de um potenciômetro

7.2.3.2. ENCODERS ÓPTICOS

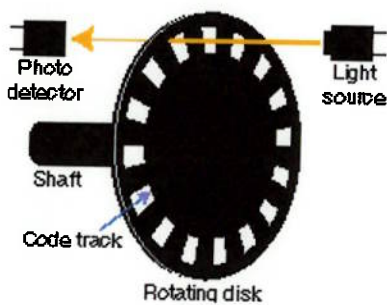


Figura 34 - Esquema de um encoder óptico

O encoder é um sensor de movimento mecânico, isto é, ele é capaz de transformar movimento (posição, velocidade e aceleração) em sinais elétricos.

O tipo mais popular de encoder é o óptico, que consiste de um disco rotativo, uma fonte de luz e um fotodetector. O disco, que é montado na ponta de um eixo possui padrões transparentes e opacos como se vê na figura. Conforme o disco gira, os padrões interrompem a emissão da luz para o fotodetector gerando um sinal ou pulso digital.



7.2.3.2.1. ENCODERS ABSOLUTOS

Os encoders deste tipo possuem um único valor para cada posição angular, e esta posição é chamada de absoluta. Com este tipo de encoder a informação da posição nunca é perdida e é disponível a cada instante como uma palavra (digital).

7.2.3.2.2. ENCODERS RELATIVOS

Estes encoders possuem um sinal de saída que se repete durante o movimento, diferentemente dos encoders absolutos, cada posição angular não pode ser unicamente definida. A “posição atual” é atualizada através do incremento do valor da posição anterior.

7.2.3.2.3. ENCODERS EM QUADRATURA

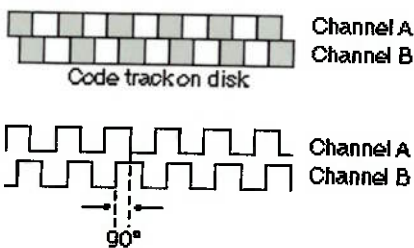


Figura 35 - Encoder em quadratura: sinais de saída

O tipo mais comum de encoder utiliza dois canais de saída (A e B) para uma posição do sensor. Usando linhas de padrões concêntricas em setores defasadas de 90° , os dois canais de saída do encoder de quadratura indicam a posição em que se encontra o encoder e também a direção de rotação.

Se o sinal A está adiantado em relação a B, por exemplo, o disco gira no sentido horário, mas se B está adiantado, então, o disco está girando no sentido anti-horário. Monitorando então o número de pulsos e a defasagem entre os sinais de saída A e B determina-se o sentido do movimento e posição angular do eixo em que está montado o encoder.



8. SELEÇÃO DO MÉTODO DE CONTROLE

Segundo (OGATA - 93) **controle** significa “*medição do valor da variável que se deseja controlar num sistema e aplicação da variável manipulada²⁰ do sistema para corrigir ou limitar o desvio do valor medido de um valor desejado*”. Assim, segue abaixo uma descrição dos dois métodos (controle de malha aberta e controle de malha fechada) considerados no desenvolvimento do protótipo para controle da posição angular dos eixos do telescópio.

8.1. SISTEMAS DE CONTROLE EM MALHA ABERTA

Os sistemas que possuem controle em malha aberta são aqueles em que a saída obtida não possui qualquer efeito sobre a ação de controle. Ou seja, nestes tipos de sistemas a saída não é medida e nem realimentada para comparação com a entrada. Na presença de perturbações, um sistema deste tipo não desempenhará a tarefa desejada. Então, a malha aberta só é utilizada quando a relação entre a saída e a entrada for conhecida e se não houver distúrbios internos ou externos que prejudiquem o controle de forma a não se alcançar os parâmetros de projeto de forma adequada.

Para o caso do protótipo a ser projetado a operação em malha aberta significa que não haverá a medição do deslocamento angular efetivamente realizado pelos dois eixos do telescópio para comparação com o deslocamento “ordenado” pelo sistema de controle ao sistema de atuação.

²⁰ Variável manipulada é a grandeza ou condição que é variada pelo controlador de modo a afetar o valor da variável que se quer controlar



8.2. SISTEMAS DE CONTROLE EM MALHA FECHADA

Em um sistema de malha fechada o sinal do erro atuante, diferença entre o sinal de entrada e o sinal realimentado (que pode ser o próprio sinal de saída uma função dele), é introduzido no controlador de forma a reduzir o erro e levar a saída do sistema a um valor desejado.

Na prática, este método pressupõe que o valor da posição angular dos dois eixos do telescópio devam ser medidos para que haja uma comparação entre o valor pretendido a cada instante e o valor real, sendo possível efetuar uma correção na ação dos atuadores do sistema.

8.3. MALHA FECHADA VERSUS MALHA ABERTA

Ainda segundo (OGATA - 93), a principal vantagem do sistema de controle em malha fechada é o fato de que o uso da realimentação torna a resposta do sistema relativamente insensível a distúrbios externos e variações internas nos parâmetros do sistema. É possível portanto usar componentes mais baratos e sem muita precisão para obter o controle preciso de uma dada planta. Por outro lado, um controle em malha aberta resulta num sistema muito mais simples, tanto do ponto de vista de *hardware* (número de componentes e custo) como de *software* (quantidade de interfaces).

Do ponto de vista da estabilidade, o sistema de controle em malha fechada leva desvantagem frente ao de malha aberta, já que a malha fechada pode tender a corrigir erros sutis de posicionamento que podem causar oscilações de amplitude constante ou variável, fator crítico neste projeto.



Levando em consideração as vantagens e desvantagens apresentadas para os dois métodos de controle, decidiu-se por utilizar o **método de controle em malha aberta**. A decisão foi baseada principalmente no fato de que as premissas adotadas no estabelecimento das necessidades (item 2), a simplicidade da montagem, do *hardware*, do *software* e ainda o baixo custo são prioritários, favorecendo o controle em malha aberta. Outro motivo é que o erro propagado pela má centralização dos astros de referência (é o próprio observador que julga que o astro está na posição correta - centro da ocular) é muito maior do que o gerado pela utilização de uma malha aberta.

Considerando que o erro entre uma localização e outra será propagado, o sistema em malha aberta permite que o usuário julgue quando será necessário introduzir uma correção no posicionamento, utilizando para isso o comando manual.

8.4. PRECISÃO DO CONTROLE EM MALHA ABERTA

A precisão de um sistema de malha aberta depende da confiabilidade dos equipamentos e componentes de toda a montagem. Assim, como parâmetro de projeto deve-se definir uma precisão angular mínima que se pretende atingir com o sistema em malha aberta na localização e acompanhamento dos astros celestes selecionados pelo usuário.

8.4.1. PRECISÃO ANGULAR DESEJADA

Como o telescópio a ser utilizado no protótipo já é conhecido pode-se determinar a precisão de posição desejada através das próprias características físicas do objeto de controle.

Um astrônomo costuma possuir oculares de diferentes distâncias focais, que proporcionam por sua vez aumentos diversos. Dessa forma, a definição de precisão



mínima desejada do equipamento deve contar com esta diversidade de campos visuais e aumentos. Na Tabela 5, encontra-se os diversos campos visuais que pode-se ter para o telescópio Newtoniano de 180 mm escolhido.

Tabela 5 - Campo visual da ocular

DIST. FOCAL (mm)	AUMENTO (vezes)	CAMPO VISUAL		
		Ramsden (33°)	Kellner (45°)	Plossel (45°)
8,0	157,5	0,210	0,286	0,317
10,0	126,0	0,262	0,357	0,397
12,0	105,0	0,314	0,429	0,476
13,0	96,9	0,340	0,464	0,516
15,0	84,0	0,393	0,536	0,595
17,0	74,1	0,445	0,607	0,675
20,0	63,0	0,524	0,714	0,794
23,0	54,8	0,602	0,821	0,913
25,0	50,4	0,655	0,893	0,992
28,0	45,0	0,733	1,000	1,111
32,0	39,4	0,838	1,143	1,270
40,0	31,5	1,048	1,429	1,587

Os campos visuais variam de 0,2° até cerca de 1,6°. A ocular utilizada no kit óptico do telescópio possui 12 mm de distância focal, o que equivale a um campo visual de 0,314°. Assim, para tentar garantir que o objeto celeste escolhido permaneça no campo de visão pelo menos dessa ocular define-se como precisão desejada de posicionamento (α) a metade do menor campo visual disponível para o telescópio:

$$\alpha = \frac{0,314^\circ}{2} = 0,157^\circ$$

$$\alpha = 9,42 \text{ minutos de arco}$$



Para o maior campo visual, o erro admissível de 9,42 minutos de arco significa cerca de 1/10 do campo total, ou seja, um erro quase que imperceptível ao observador. Sabendo que o movimento aparente diurno dos astro é de 15 arcmin/min, o valor de α encontrado equivale a um erro admissível de aproximadamente 9,42arcmin/min.



9. SELEÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA

Na seleção do dispositivo de controle optou-se pela solução que utiliza um computador portátil por permitir maior flexibilidade ao sistema, atualizações ou ampliações no banco de dados, já que na outra solução caso se desejasse fazer isto seria preciso gravar novamente a memória. Considerou-se que a maior dificuldade para projetar um circuito com display, microcontrolador, gravar a memória, frente a utilização de um Laptop não compensariam a maior autonomia obtida.

O computador portátil estaria então ligado a uma placa que faria o papel de interface com os motores. Analisando os motores descritos, e buscando sempre a solução mais simples e visando um controle de posicionamento em malha aberta, optou-se por utilizar como dispositivos de atuação dois motores de passo, um para realizar o movimento azimutal do telescópio e outro para a altura.

Nos dispositivos de transmissão avaliados, verifica-se que os mais adequados seriam as rodas de atrito e as engrenagens por permitirem altas reduções e facilidade para inversão de sentido de rotação, características desejadas no projeto, além de não apresentarem a necessidade de terem os eixos afastados e paralelos entre si, o que simplifica o projeto da estrutura mecânica.

Na comparação direta entre os dois e considerando que os motores de passo de forma geral não apresentariam torque suficiente para moverem todo o conjunto, opta-se por uma solução mista: na saída do eixo do motor é acoplado um redutor de engrenagens que será responsável por transmitir o movimento do motor para a roda de atrito que permite uma relação de transmissão bem maior e sustenta e move o telescópio.



10. FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

O funcionamento do protótipo será descrito através de figuras que representam as entradas e saídas para o sistema de controle, em cada atividade. A descrição em alto nível será seguida de uma mais detalhada para que se possa observar além das entradas e saídas globais do sistema, as necessárias para cada subsistema durante a execução de cada atividade.

10.1. ATIVIDADE DE CALIBRAÇÃO

O primeiro passo a ser realizado pelo usuário é a calibração do equipamento:

- ☆ usuário escolhe duas estrelas para calibração e informa o sistema (através do programa no *Laptop*) quais serão as referências;
- ☆ através do comando manual posiciona a primeira referência no centro da ocular;
- ☆ avisa o sistema que a primeira já foi encontrada;
- ☆ o usuário repete as duas últimas passagens para a segunda estrela de referência;
- ☆ programa calcula parâmetros de calibração.

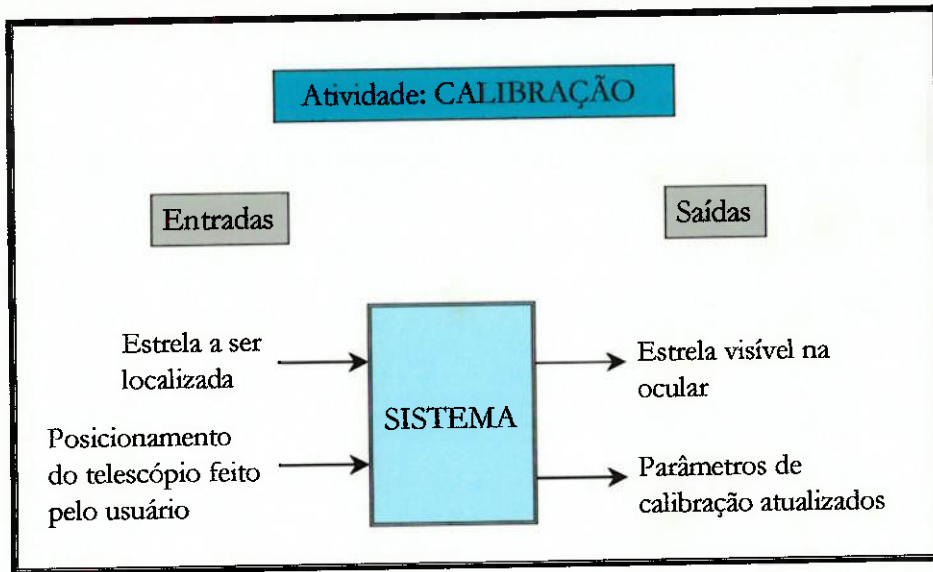


Figura 36 – Entradas e saídas para a calibração

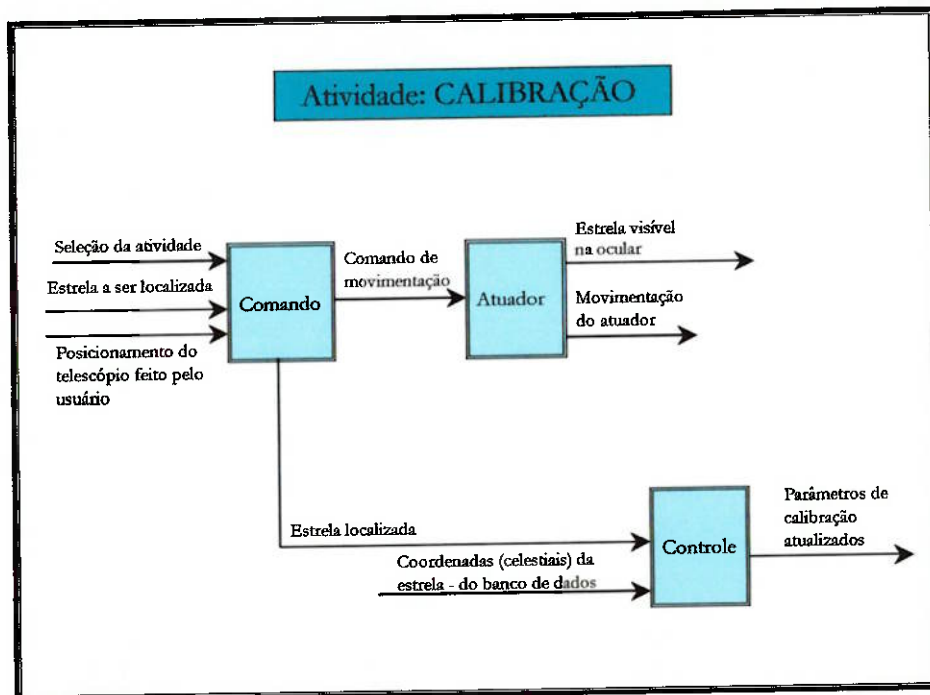


Figura 37 – Processo de calibração - detalhes



10.2. ATIVIDADE DE LOCALIZAÇÃO

Depois de realizada a etapa de calibração, o operador pode escolher um terceiro astro para ser localizado automaticamente, bastando:

- ☆ selecionar no programa a atividade de localização e,
- ☆ informar astro a ser localizado.

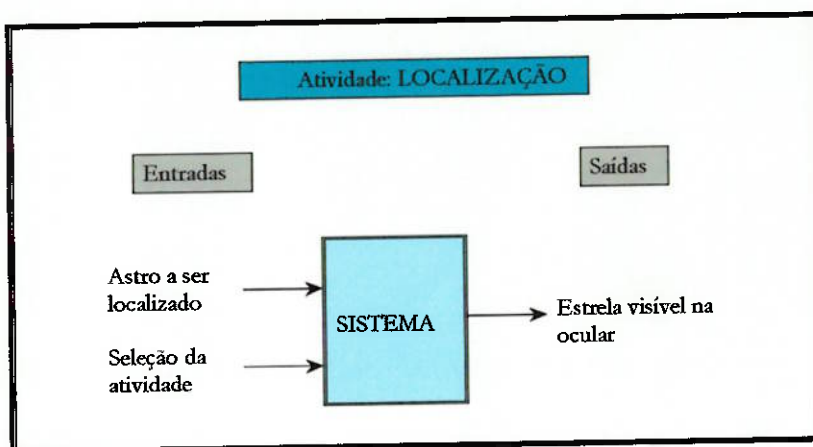


Figura 38 – Entradas e saídas para localização de um novo astro

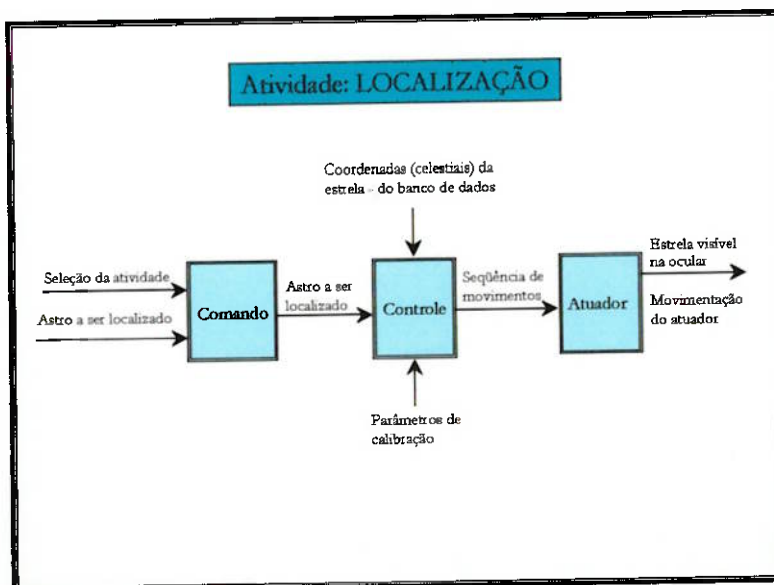


Figura 39 – Processo de localização - detalhes



10.3. ATIVIDADE DE ACOMPANHAMENTO

Assim que o telescópio se mover até a posição corresponde ao astro selecionado o usuário pode optar por iniciar o processo de acompanhamento de sua trajetória.

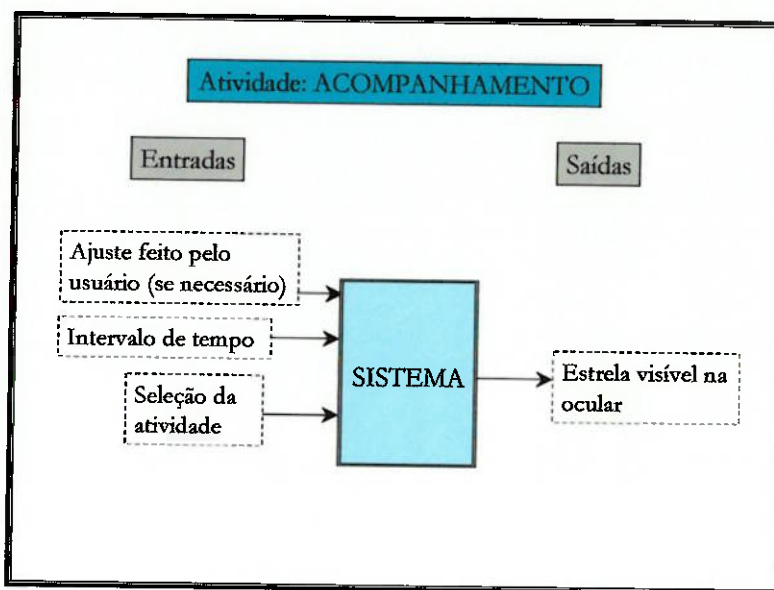


Figura 40 – Entradas e saídas para acompanhamento de um astro

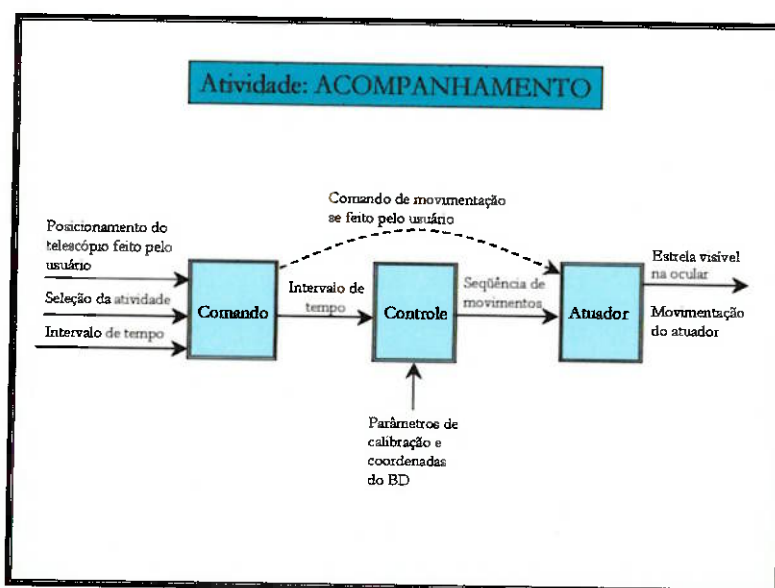


Figura 41 – Processo de acompanhamento - detalhes



11. PROJETO BÁSICO

11.1. MONTAGEM DO TELESCÓPIO

O telescópio newtoniano selecionado como objeto de controle do protótipo foi comprado em forma de kit óptico composto apenas pelos espelhos e lentes, sendo necessária a fabricação de algumas peças de acordo com as instruções passadas pelo fabricante.

O kit é composto dos seguintes elementos:

- ☆ espelho primário
- ☆ espelho secundário
- ☆ ocular tipo Ramsdem²¹ de 12 mm de distância focal

Ficando portanto a necessidade de obter ainda os seguintes elementos:

- ☆ tubo de PVC de 200 mm de diâmetro e 1300 mm de comprimento
- ☆ suporte para o espelho primário
- ☆ suporte para o espelho secundário (aranha)
- ☆ focalizador²²
- ☆ luneta buscadora

Nos itens 11.1.1.1 e 11.1.1.2 será mostrada uma sugestão de construção dos suportes para os dois espelhos dada pelo próprio fabricante da parte óptica e também do

²¹ Detalhes sobre oculares podem ser encontrados no Apêndice B item 1.1. do relatório do 1º semestre

²² Detalhes sobre focalizadores e lunetas buscadoras podem ser encontrados no Apêndice B item 1.2. e 1.3. do relatório do 1º semestre.



focalizador no item 11.1.1.3, ficando a obtenção de uma luneta buscadora opcional para o usuário.

11.1.1. CONSTRUÇÃO DAS PARTES DO TELESCÓPIO

11.1.1.1. SUPORTE PARA O ESPELHO PRIMÁRIO

Material:

- ☆ 1 disco de madeira de 18 mm de espessura e diâmetro igual ao diâmetro interno do tubo de PVC
- ☆ 1 disco de madeira de 18 mm de espessura e diâmetro igual ao do espelho principal ($\phi=180$ mm)
- ☆ 3 parafusos com porca (borboleta)
- ☆ 3 molas

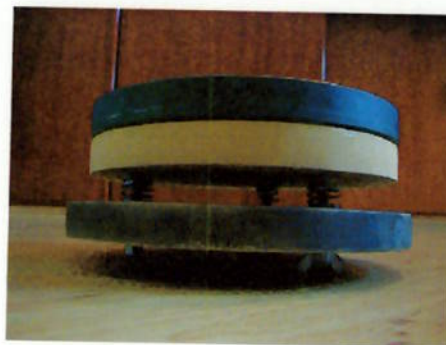


Figura 42 - Suporte do espelho principal

11.1.1.2. SUPORTE PARA O ESPELHO SECUNDÁRIO

Material:

- ☆ tarugo de PVC branco de 32 mm de diâmetro e 20 mm de comprimento
- ☆ tarugo de PVC branco de 32 mm de diâmetro chanfrado em 45°
- ☆ 4 parafusos e uma porca (borboleta)
- ☆ 3 varetas com rosca de 3 mm de diâmetro

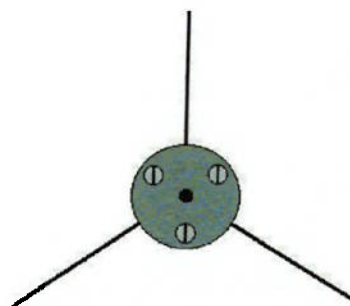


Figura 43 - Suporte com as hastes de fixação

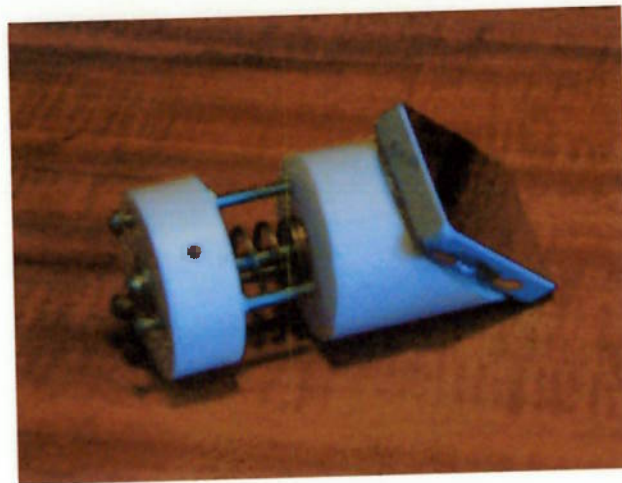


Figura 44 - Suporte do espelho secundário sem as hastes

11.1.1.3. FOCALIZADOR

Material:

- ☆ disco de madeira de 60 mm de diâmetro e 30 mm de espessura (uma das superfícies deve possuir a curvatura do tubo)
- ☆ tubo de PVC marrom de 40 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento
- ☆ luva de PVC marrom de 32 mm
- ☆ tubo de PVC marrom de 32 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento
- ☆ pedaço de feltro ou flanela (colado na superfície interna do tubo de PVC de 40 mm de diâmetro)
- ☆ é feito um furo no tubo do telescópio com o mesmo diâmetro interno do focalizador e mais dois furos para os parafusos de fixação

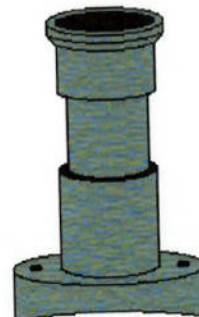


Figura 45 – Focalizador pronto para ser fixado no telescópio



11.1.2. COLIMAÇÃO

Colimação é o nome dado ao processo de alinhamento dos componentes ópticos dos telescópios, juntamente com a excelente qualidade das lentes e espelhos, é responsável pelo fornecimento de boas imagens. Um telescópio sem alinhamento óptico fornece imagens deformadas e menos nítidas comprometendo muito a observação dos astros celestes.

11.1.2.1. ALINHAMENTO DO ESPELHO SECUNDÁRIO

No caso do telescópio newtoniano o primeiro espelho a ser alinhado é o espelho secundário seguido do alinhamento do espelho primário. A aferição da colimação é feita através do focalizador do telescópio (retirada sua ocular), sendo que a utilização de referências é essencial para a obtenção de bons resultados finais.

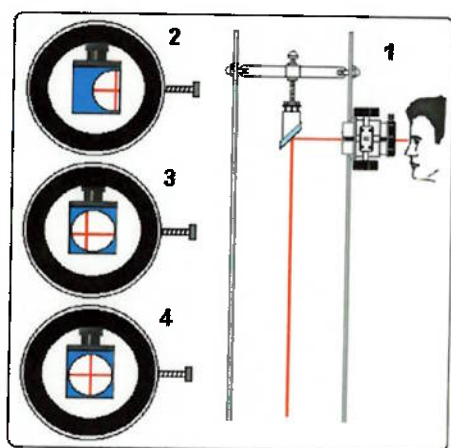


Figura 46 – Alinhamento do espelho secundário

Como referência para o alinhamento do espelho secundário pode-se utilizar dois fios ou barbantes esticados em forma de cruz fixados na extremidade do tubo, retirando o espelho primário. Os fios devem ser presos com fita adesiva de forma que fiquem bem esticados e o cruzamento dos fios bem no centro do tubo do telescópio.

Durante todo o processo de colimação deve-se deixar a linha de visão bem no centro do focalizador do telescópio como ilustrado na Figura 46. Os passos a serem seguidos para a realização do primeiro alinhamento são:



- a) Checar como a referência (os fios em forma de cruz) está em relação ao focalizador. A Figura 46-2 mostra o espelho secundário (em azul) refletindo a imagem da extremidade do tubo com os dois fios.
- b) Se a referência estiver deslocada para um dos lados do secundário significa que há a necessidade de um alinhamento. Deve-se então, girar um pouco todo conjunto do espelho secundário até que os fios fiquem no centro do espelho.
- c) Nova checagem é feita após o ajuste feito. Caso haja ainda uma pequena falta de alinhamento, como a mostrada na Figura 46-3, deve-se apertar ou soltar um dos três parafusos de ajuste do suporte do espelho secundário.
- d) Novas checagens do posicionamento da referência e ajustes do posicionamento do suporte secundário devem ser feitos até que o espelho secundário esteja totalmente alinhado, com a referência posicionada no centro do espelho (Figura 46-4).

11.1.2.2. ALINHAMENTO DO ESPELHO PRIMÁRIO

Os dois fios de referência para alinhamento do espelho secundário são retirados e o espelho primário é fixado na extremidade do tubo do telescópio. Inicia-se então o procedimento de alinhamento:

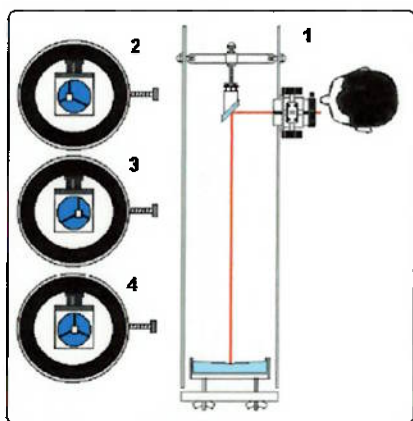


Figura 47 – Alinhamento do espelho primário

- a) Através do focalizador o usuário deve checar como está o alinhamento óptico do telescópio, tal qual é mostrado na Figura 47.
- b) Observa-se se o espelho secundário (área quadrada) não está no centro da área circular azul (espelho primário) e se as três hastes do suporte secundário estão com tamanhos diferentes, confirmando a falta de alinhamento do espelho primário.
- c) Deve-se apertar ou soltar um dos três parafusos ou porcas de ajuste do suporte do espelho primário.



- d) Quando o espelho secundário for visto exatamente no centro do espelho primário e as hastes do suporte secundário estiverem com tamanhos iguais diz-se que o espelho primário está alinhado e todo o telescópio perfeitamente colimado (Figura 47-4).

11.1.3. DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE GRAVIDADE DO TELESCÓPIO

Com o tubo do telescópio já montado com os espelhos principal e secundário, o focalizador e outros acessórios, é preciso determinar o centro de gravidade do telescópio.

A fixação do telescópio na montagem dobsoniana deve ser feita justamente no eixo do CG, evitando que ocasionalmente o telescópio se mova devido a ação de seu peso próprio, irregularmente distribuído ao longo do tubo e tornando o posicionamento do telescópio instável.

A determinação do CG pode ser realizada através de um método experimental muito simples mostrado na Figura 48, que consiste basicamente em modificar a posição do barbante ao longo do tubo até que o telescópio esteja na horizontal e permaneça nesta posição em equilíbrio (Caso seja necessário o ajuste do centro de gravidade basta acrescentar pequenas massas em uma das extremidades do tubo).

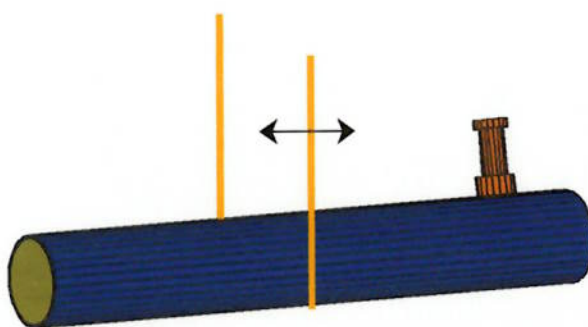


Figura 48 - Determinação do centro de gravidade do telescópio



11.2. ESTRUTURA MECÂNICA

11.2.1. ESTRUTURA DOBSONIANA

A montagem dobsoniana é uma montagem azimutal que se caracteriza por apresentar fácil construção e baixo custo, além de ser forte e robusta o suficiente para suportar ópticas de grande diâmetro. A grande base em forma de disco permite à estrutura um movimento suave e não provoca vibrações que atrapalham a observação.

Utilizou-se como base para a construção da estrutura do protótipo a montagem sugerida pelo fabricante do kit óptico do telescópio. As peças são todas de madeira e foram feitas algumas alterações na estrutura para que seja adequada aos novos propósitos de posicionamento automatizados.

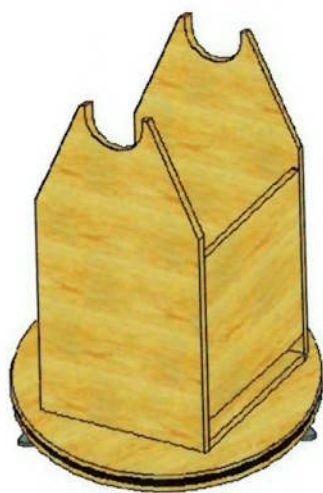


Figura 50 - Montagem Dobsoniana sugerida



Figura 49 - Detalhe do encaixe lateral



11.2.2. ADAPTAÇÃO DO PROJETO

As adaptações para o projeto da estrutura dobsoniana focam-se principalmente na necessidade de colocação dos dispositivos de atuação (motores de passo) e de transmissão (rodas de atrito) do protótipo.

11.2.2.1. DIMENSIONAMENTO DA TRANSMISSÃO

O disco da base foi dimensionado pelo fabricante visando a estabilidade da estrutura, portanto não é desejável uma alteração nesta dimensão, sendo necessário um revestimento da base para aumentar o atrito existente entre o eixo e a roda de atrito.

O torque para mover o eixo da altura é menor que o necessário para a movimentação de azimute que gira toda a estrutura. Considerando que o conjunto motores-redutores a serem utilizados terão as mesmas características, é desejável que a relação de transmissão de movimento nos dois eixos seja a mesma para que as velocidades sejam iguais ou pelo menos bastante próximas, independentemente da forma de fixação dos atuadores.

A roda de atrito do movimento em altura possui então o mesmo diâmetro da roda de atrito azimutal (450mm), com a diferença que a primeira tem a forma de $\frac{1}{4}$ de círculo já que o movimento neste eixo só varia de zero a noventa graus. A peça é fixada em um dos apoios, na lateral do telescópio e a superfície em contato com o eixo do conjunto motor-redutor recebe um revestimento de borracha para evitar que haja um escorregamento entre o eixo e a roda de atrito, o que causaria erro no deslocamento angular do telescópio.



A determinação teórica do torque necessário para mover os eixos da estrutura exigiria uma série de aproximações e suposições devido ao formato complexo da estrutura e as perdas por atrito dificilmente seriam quantificadas. Optou-se assim por realizar uma determinação experimental do torque exigido.

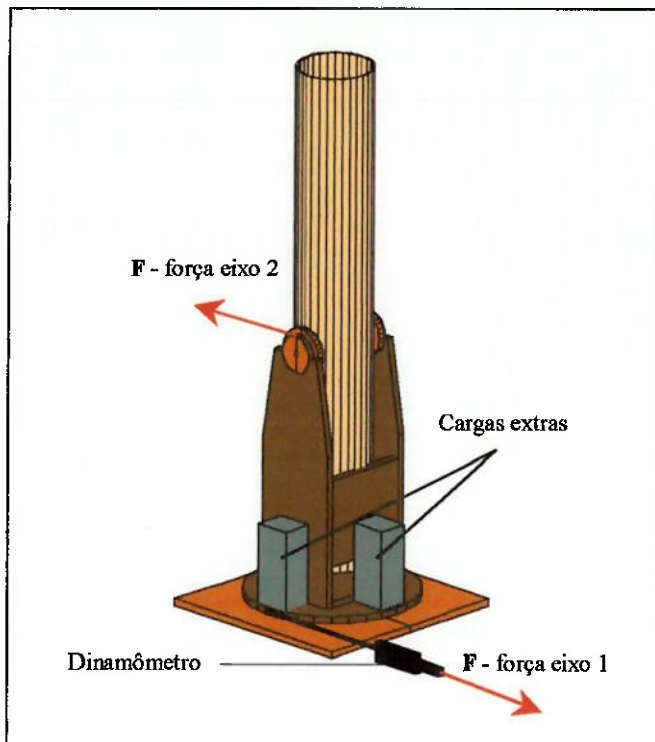


Figura 51 - Esquema do teste de torque

A estrutura foi montada com as peças já disponíveis (estrutura e tubo do telescópio). As massas dos espelhos, motores e outras peças foram estimadas e substituídas por objetos com cargas equivalentes.

Fixando-se um dinamômetro à tangente do círculo da base é possível medir a força necessária para movê-lo (Figura 51). Esta força deverá ser exercida pelo eixo do motor. A

força multiplicada pela distância ao eixo do motor (raio) resulta no torque necessário.

Para mover a base em torno do eixo 1 foi necessária uma força de 20N. Foi possível verificar que força ou torque necessários para a movimentação em torno do eixo 2 seriam menores que os do eixo 1, apesar de não se obter os valores exatos pois as rodas motoras não foram fixadas no tubo do telescópio. Portanto, o dimensionamento e especificação da transmissão basearam-se no valor obtido para o eixo 1.

Considerando o motor Nema 17 (ver item 11.3.3), utilizado com a placa de controle encontrada, torna-se necessária a utilização de um redutor de engrenagens de 10:1, de acordo com recomendações do fabricante. Isto acarretaria a redução da velocidade de rotação final, não prejudicial neste tipo de aplicação.



11.2.3. MONTAGEM DA ESTRUTURA

A lista completa dos materiais e as medidas das peças de madeira podem ser observadas no apêndice.

No projeto original a base é da mesma forma e tamanho do disco em que a estrutura é apoiada, mas como o movimento do telescópio nos dois eixos deixou de ser manual, é preciso reservar agora um espaço para o motor do eixo de azimute. Então, optou-se por fazê-la quadrada.

Nesta base quadrada são feitos furos para a fixação do motor, redutor e pés de borracha. Sobre ela são colados três apoios com pedaços de teflon.

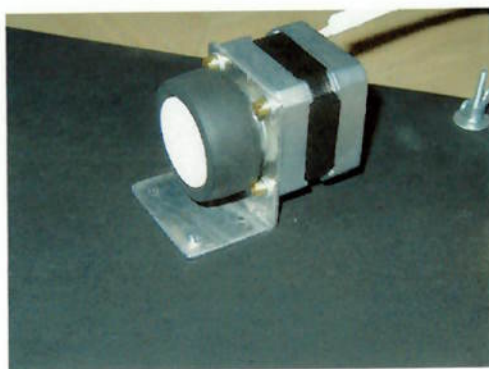


Figura 52 - Detalhe da fixação do motor



Figura 53 - Base com apoios e motor

No eixo do motor ou redutor é colocada uma roda de PVC por ajuste forçado, revestida com borracha para aumentar o atrito entre o eixo e a base ou roda de transmissão. (Figura 52)



A base redonda, que possui um rolamento no centro, é fixada no parafuso-eixo e apoiada no eixo do redutor e também nos apoios com teflon. A estrutura é montada sobre esta base, pelo seu centro passa o eixo (parafuso) que está fixado na base quadrada (Figura 54).



Figura 54 - Estrutura sobre o disco da base



As peças de madeira são fixadas de acordo com a figura 55, utilizando pregos e cola para madeira. Para a fixação do motor do eixo de altura instala-se uma prateleira na lateral da estrutura. Na parte circular, onde será apoiado o telescópio é recomendável colar pedaços de teflon para facilitar o movimento no eixo da altura.

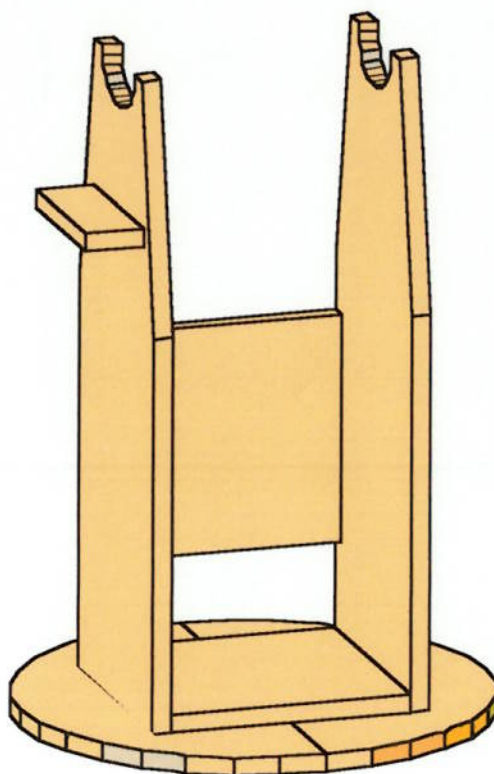


Figura 55 - Peças montadas



Os apoios e a roda de transmissão (Figura 56) são fixados no tubo do telescópio (no Centro de Gravidade) utilizando parafusos comuns, em seguida este é encaixado na estrutura. Então, os motores podem ser fixados na base e na prateleira observando o correto posicionamento e a proximidade do eixo em relação as rodas de atrito (Figura 57).



Figura 56 - Tubo do telescópio com os apoios

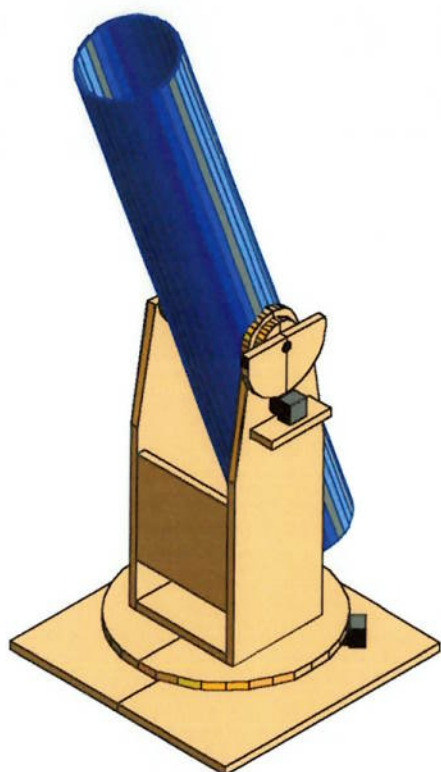


Figura 57 - Posição dos motores



Figura 58 - Montagem final



11.3. PROJETO DO SOFTWARE

11.3.1. MÉTODO DE CALIBRAÇÃO COM DUAS ESTRELAS

A localização de qualquer estrela a partir de suas coordenadas absolutas, chamadas equatoriais pode ser feita após estabelecer uma equivalência entre estas coordenadas e as do telescópio (altazimutais). O usuário movimenta o telescópio até seu alinhamento com duas estrelas distintas, como a movimentação é conhecida e podem ser registradas as coordenadas do telescópio para as duas estrelas.

O algoritmo descrito a seguir estabelece a matriz de transformação entre as coordenadas do telescópio e as equatoriais, levando em conta o tempo de alinhamento entre a primeira e a segunda estrela.

Sendo r e d iguais as coordenadas Ra e Dec da estrela; a e e iguais às coordenadas do telescópio, azimute e altura respectivamente; t igual ao tempo solar passado a partir do primeiro alinhamento e k o fator de conversão de tempo solar para tempo sideral passado ($k = 1.002738$).

Converte-se estes parâmetros para coordenadas cartesianas, para as 2 estrelas:

$$x = \cos e \cos a$$

Coordenadas do telescópio: $y = \cos e \sin a$

$$z = \sin e$$

$$X = \cos d \cos(r - kt)$$

Coordenadas equatoriais: $Y = \cos d \sin(r - kt)$

$$Z = \sin d$$



Podem ser construídas as seguintes matrizes:

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad B = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 \end{bmatrix}$$

onde:

x_1, y_1, z_1 e X_1, Y_1, Z_1 são as coordenadas da primeira estrela;

x_2, y_2, z_2 e X_2, Y_2, Z_2 são as coordenadas da segunda estrela;

x_3, y_3, z_3 e X_3, Y_3, Z_3 são as coordenadas da “terceira” estrela.

O vetor que representa a “terceira” estrela é uma função da primeira e da segunda estrela usando produtos vetoriais:

$$\begin{aligned} a &= y_1 z_2 - z_1 y_2 & x_3 &= a / p \\ b &= z_1 x_2 - x_1 z_2 & y_3 &= b / p \\ c &= x_1 y_2 - y_1 x_2 & z_3 &= c / p \\ p &= \sqrt{x_3^2 + y_3^2 + z_3^2} \end{aligned}$$

Da mesma forma calcula-se X_3, Y_3 e Z_3 .

A matriz de transformação T é dada por:

$$\begin{aligned} A &= T.B \\ T &= A.B^{-1} \end{aligned}$$

Com esta matriz de transformação é possível, a partir das coordenadas equatoriais da estrela desejada (r e d) e o horário atual, descontar o tempo passado t desde o alinhamento com a primeira estrela (a matriz T foi feita para aquele horário), calcular X, Y, Z e então obter as coordenadas para onde o telescópio deverá ir para localizar a estrela desejada:



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Azimute (direção):

$$a = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$$

Altura:

$$e = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right)$$

11.3.2. FORMATO DOS DADOS

As coordenadas equatoriais, mesmo sendo fixas, sofrem pequenas variações ao longo de um período de tempo devido aos efeitos apresentados no item 3.1.5. Para as estrelas a variação nas coordenadas é muito pequena, em geral inferior a 1 grau por ano, e no caso dos planetas a atualização das coordenadas é um pouco mais complexa devido a própria dinâmica do sistema solar.

Desta forma, como é desejável que o software possa ser usado a qualquer momento, não se restringindo a um período de tempo (mesmo que este período seja longo) deve-se trabalhar com coordenadas bases que possam ser corrigidas de acordo com a data da observação.

Existem duas soluções básicas. A primeira é a utilização de algoritmos que recalculariam as coordenadas bases dos astros selecionados de acordo com a data e horário da observação. Neste caso, se o astro escolhido fosse um planeta um algoritmo baseado num modelo astronômico da dinâmica dos planetas calcularia a posição do planeta escolhido. Se fosse uma estrela, algoritmos de compensação da nutação,



movimento próprio das estrelas e da precessão calcularia a correção da coordenada equatorial utilizada como base.

A outra solução seria criar um banco com as coordenadas de um astro para datas diferentes, dessa forma, o software não faria todos os cálculos, apenas selecionaria a data correta para consultar o banco de dados. Esta solução além de ser mais simples evita a sobrecarga do *software* com os diversos cálculos astronômicos necessários na solução anterior que poderia causar uma grande demora no processo de localização dos corpos celestes.

Para a implementação desta segunda alternativa seria preciso obter as coordenadas e respectivas correções de cada astro. Estes dados podem ser encontrados em diversos atlas astronômicos, mas buscou-se um programa que as disponibilizasse em arquivos facilitando a utilização e eventuais modificações. O SkyChart III (em sua versão demo pode ser obtido na Internet) exporta as coordenadas de um determinado astro no formato texto, para um dado dia/horário.

Cada arquivo exportado do SkyChart refere-se a um astro e podem constar as coordenadas para um determinado dia ou então determinar-se um período de tempo e intervalos em que se deseja ter a coordenada (ex.: estrela X, de 01/2000 a 10/2010, mês a mês).

Além de tornar o software mais “leve”, esta solução permite uma fácil inclusão de novos astros no sistema, sem que haja a necessidade de se alterar os algoritmos de localização e acompanhamento optou-se por criar um banco de dados do Access construído com os dados exportados do SkyChart.²³

²³ Com a implementação desta segunda solução não é necessário conhecer os algoritmos que permitem o cálculo da trajetória de cada planeta e a localização dos planetas passam a ser localizados e acompanhados pelo mesmo algoritmo das estrelas.



11.3.3. ACIONAMENTO DOS MOTORES VIA SOFTWARE

O acionamento de motores de passo é feito enviando-lhe pulsos a seus pólos. Dependendo da ordem em que os pólos são acionados os passos ocorrem de forma diferente, variando a velocidade e o tamanho do ângulo por passo. Para gerar estes pulsos é necessário um driver contendo um circuito controlador que possa receber o número de passos e outros fatores que definam as seqüências e intervalos de utilização dos pólos e transforme estas informações para parâmetros reconhecidos pelo motor. Constatou-se que um dos fabricantes destes drivers disponibiliza o controle do usuário por programa em um PC, integrável ao software desenvolvido.

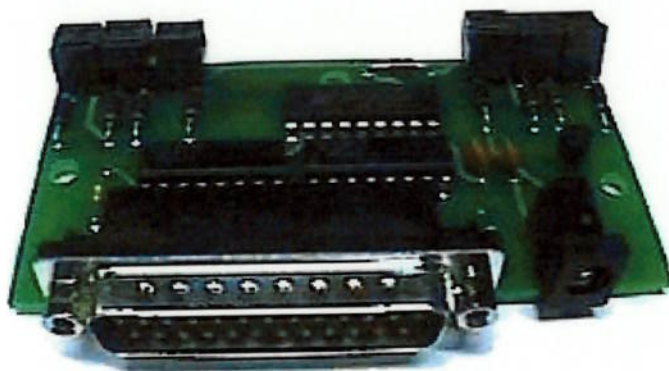


Figura 59 - Placa controladora de motores de passo

Este controlador de motores (Figura 59) é acionado via porta paralela, sendo fornecido um programa em que se definem as quantidades de passos para cada motor. Neste caso, o software deveria calcular os passos desejados para localizar cada estrela e enviá-los para o programa fornecido. Os motores utilizados com este controlador são do tipo Nema17, Oriental Motor, 200 passos por volta, com tensão DC de operação de 9,6V.

Seria melhor se o software já enviasse estes comandos diretamente para o motor, executando a função de cálculo e interface com o motor. Isto pôde ser feito com o uso de um arquivo tipo .dll desenvolvido pelo fabricante, que contém as funções utilizadas na interface com o motor. No desenvolvimento do software é necessário incluir este



arquivo e declarar quais funções serão usadas, permitindo que qualquer função possa ser chamada durante a execução do software da mesma forma que funções comuns.

11.3.4. ESTRUTURA DO SOFTWARE

A figura abaixo mostra as rotinas principais do software e a relação entre elas. As flechas ilustram o sentido do fluxo de informações.

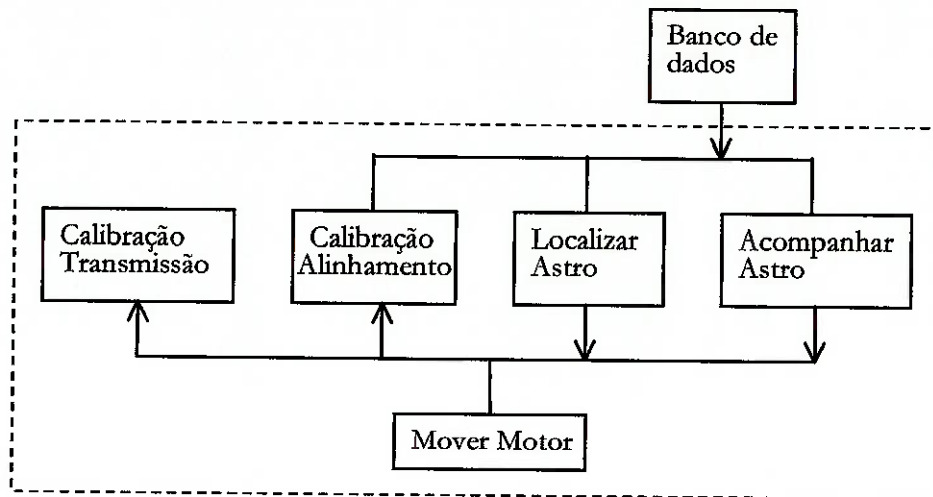


Figura 60 - Fluxograma do software

11.3.5. DESCRIÇÃO DAS ROTINAS E SUBROTINAS

11.3.5.1. SUBROTINAS

Posição Telescópio - Atualiza a variável global com a posição do telescópio levando em conta a movimentação manual (provocada pelo usuário).

Entradas: Deslocamento realizado.

Saídas: Coordenadas do telescópio atualizadas.

MoverMotor - Com o número de passos envia comandos aos motores.



Entradas: Número de passos para cada motor.

Saídas: Movimentação dos motores.

11.3.5.2. ROTINAS

CalibrarTransmissão - Com os dados fornecidos pelo usuário sobre o deslocamento do telescópio em cada eixo e quantos passos o motor recebeu para fazer este deslocamento, calcula a relação de transmissão em ângulo do telescópio por passo.

Entradas: Deslocamento do telescópio e número de passos (MoverMotor)

Saídas: Relações de transmissão de cada motor - eixo

CalibrarAlinhamento - Recebe a movimentação acionada pelo usuário e chama a subrotina PosiçãoTelescópio que indica as coordenadas do telescópio para cada estrela. Com a informação de quais estrelas estão sendo localizadas consulta as coordenadas equatoriais no banco de dados, então calcula a matriz de transformação entre as coordenadas, levando em conta o tempo passado.

Entradas: Estrelas localizadas, deslocamentos realizados por MoverMotor.

Saídas: Matriz de transformação.

Localizar - Calcula a posição do telescópio caso tenha sido alterada pelo usuário (PosiçãoTelescópio), consulta no banco de dados as coordenadas do astro a ser localizado, utiliza a matriz de transformação calculada na calibração, calcula quanto o telescópio deverá se deslocar, em função de sua posição atual para centralizar um determinado astro e envia esta informação para a rotina MoverMotor.

Entradas: Astro a ser localizado e eventuais modificações na posição do telescópio.

Saídas: Passos para os motores para o posicionamento do telescópio.

Acompanhar - Calcula a posição do telescópio caso tenha sido alterada pelo usuário (PosiçãoTelescópio), consulta no banco de dados as coordenadas do astro a ser



acompanhado, calcula o deslocamento necessário. Ao verificar o deslocamento necessário ao telescópio, define se este deve ou não se movimentar naquele momento. O limite para que o telescópio se mova ou não é definido pelo usuário. Em caso afirmativo chama MoverMotor.

Entradas: Astro a ser acompanhado e eventuais modificações na posição do telescópio.

Saídas: Passos para os motores para o posicionamento do telescópio.

11.3.6. DESCRIÇÃO DA PROGRAMAÇÃO

A partir da definição destas funções gerais, o detalhamento e implementação foram feitos utilizando o compilador Visual Basic 6.0 devido à facilidade de operação, modularidade obtida nos programas e compatibilidade com outros aplicativos.

No Visual Basic trabalha-se com uma janela, ou formulário, que é a interface com o usuário. Através deste é possível acessar as funções descritas, pode conter botões, menus, caixas de texto, listas. Neste tipo de estrutura do software as funções são divididas em subfunções, acionadas por eventos como: clique do mouse em um botão, seleção de um registro numa lista, pressionar teclas do keyboard, entre outros.

A seguir será feita uma descrição destas funções guiadas por eventos, o código fonte em Visual Basic pode ser referenciado no apêndice C.

Form_Load

Os comandos são executados quando o programa se inicia. São feitas inicialização de variáveis e consultas ao banco de dados (arquivo em Access) para exibir os astros na lista (List Box) e as constelações para busca de astros.



OK_busca_Click

Ao clicar neste botão (OK de “Astros” ao lado da caixa de texto de Busca) serão exibidos na lista os astros que se enquadram na busca do texto inserido na caixa de texto.

OKConst_Click

Ao clicar neste botão (OK de “Astros” ao lado da combo box Constelações), serão exibidos na lista os astros que se pertencem à constelação selecionada na combo box.

Exibir_Click

Ao clicar neste botão (Exibir Todos de “Astros”), todos os astros são exibidos na lista (“zera” todas as buscas).

Form_KeyDown

Este bloco detecta qualquer tecla pressionada no teclado, e define ações dependendo da tecla. Determinou-se que “W” movimenta o telescópio para cima; “S” movimenta o telescópio para baixo; “A” movimenta o telescópio para esquerda e “D” movimenta o telescópio para direita. Para cada uma destas teclas pressionadas, a função para mover os motores é chamada, indicando o sentido de rotação. O número de passos enviado a cada motor é contado e ao final calcula-se o deslocamento provocado pelo teclado, para que em casos de movimentação do telescópio pelo usuário, seja possível determinar a posição do telescópio.

InicTrans_Click

Ao clicar neste botão (Iniciar de “Calibração de Transmissão”), o programa é avisado que será feita uma calibração de transmissão, fica habilitado o botão para registrar deslocamentos nos dois eixos, as relações de transmissão são zeradas (em caso de recalibração)



RegTrans_Click

Ao clicar neste botão (Registrar Deslocamentos de “Calibração de Transmissão”), será habilitada a caixa de texto para inserir o deslocamento do eixo do motor 1 (altura), caso um dos eixos não tenha sido movido aparece uma mensagem de erro: “Movimentar os dois eixos antes de registrar!” ou se o deslocamento tiver sido igual a zero: “Deslocamento precisa ser diferente de zero!”

Text1_Change

Após inserir o primeiro deslocamento, a caixa de texto para o segundo é habilitada.

Text2_Change

Após inserir o segundo deslocamento, o botão Aplicar fica habilitado.

ApITrans_Click

Ao clicar neste botão (Aplicar de “Calibração de Transmissão”), verifica-se se os deslocamentos inseridos estão dentro dos limites, em caso afirmativo, calcula-se as relações de transmissão para cada motor. Fica habilitada a calibração de alinhamento.

InicEstrela_Click

Ao clicar neste botão (Iniciar de “Calibração 2 estrelas”), verifica-se se o telescópio está posicionado em (0,0), o usuário é avisado para movimentar o telescópio até a estrela 1.

Estrela1_Click

Ao clicar neste botão (Estrela 1 de “Calibração 2 estrelas”), o programa capta o deslocamento ocorrido para chegar na estrela e o tempo zero, a partir do qual serão calculadas as diferenças de tempo desde o primeiro alinhamento. O usuário seleciona na seção Astros a estrela 1, utilizando a busca por nome ou constelação e confirmando no botão Aplicar.



Timer1_Timer

Utiliza-se um timer para exibir na janela de status (Form2) o horário do primeiro alinhamento, o horário atual, a diferença atual, os deslocamentos ocorridos pelo teclado e a posição atual (somente quando estas variáveis são recalculadas por alguma outra função)

SelectEst_Click

Ao clicar neste botão (Aplicar de “Astros”), o programa pega o astro selecionado na list box, se for a estrela 1 selecionada, o programa busca no banco de dados as coordenadas equatoriais correspondentes e instrui o usuário a mover o telescópio (por teclado) até a estrela 2. Se for a estrela 2 selecionada, o programa também busca as coordenadas equatoriais e com os dados das coordenadas altazimutais das estrelas 1 e 2 calcula a matriz de transformação.

Se a seleção for feita para um astro que será localizado, o programa pede confirmação do astro a localizar, busca no banco de dados as coordenadas equatoriais deste, capta o tempo decorrido desde o primeiro alinhamento e calcula as coordenadas altazimutais deste astro, habilitando o botão Mover.

Estrela2_Click

Ao clicar neste botão (Estrela 2 de “Calibração 2 estrelas”), o programa capta o deslocamento ocorrido para chegar na estrela e o tempo decorrido para o cálculo da matriz de transformação. O usuário seleciona na seção Astros a estrela 2, utilizando a busca por nome ou constelação e confirmando no botão Aplicar.

Localiza_Click

Ao clicar neste botão (Localizar de “Localizar e Acompanhar”), o usuário é instruído a selecionar o astro a ser localizado e a posição atual do telescópio é calculada, caso tenha ocorrido algum deslocamento por teclado.



Mover_Click

Ao clicar neste botão (Mover de “Localizar e Acompanhar”), o programa verifica se o astro a ser localizado estaria no campo visual, em caso afirmativo calcula a diferença entre a posição desejada e a atual, calcula quantos passos serão necessários em cada eixo para então enviá-los aos motores. Depois o botão Acompanhar é habilitado.

Acompanhar_Click

Ao clicar neste botão (Acompanhar de “Localizar e Acompanhar”), o programa confirma o astro a ser acompanhado (o que foi previamente localizado), e modifica a variável de acompanhamento que é feito por timer, para que este ocorra. (Ver Timer2)

Parar_Click

Ao clicar neste botão (Parar de “Localizar e Acompanhar”), a variável de acompanhamento é modificada para que este não ocorra.

Timer2_Timer

Este timer detecta o valor da variável de acompanhamento, modificada pelos botões Acompanhar e Parar. Quando a variável indica que deve haver o acompanhamento, o programa calcula a posição do astro levando em conta o tempo desde o primeiro alinhamento, caso a diferença entre a posição atual e a do astro seja maior do que o limite de acompanhamento definido pelo usuário (o valor padrão/inicial é de meio grau) o número de passos adequado para chegar nesta nova posição é enviado aos motores.

Passos

Zera as variáveis que contam os passos dos motores.

Posicao_Telescopio

Atualiza as coordenadas do telescópio em relação aos deslocamentos ocorridos.



SelecionarAstro

Habilita os objetos utilizados na seleção dos astros (seção “Astros”).

FechStat_Click

Fecha a janela de status.

Os comandos do menu serão descritos no manual do usuário.



12. MANUAL DO USUÁRIO

O software contém dois arquivos auxiliares: *Astros.mdb* que contém o banco de dados em Access, *StepperMotor.dll* com as funções do motor, e o executável *Telescópio.exe*. Todos devem ser gravados no diretório: **C:\Arquivos de Programas\Telescópio**

Na figura 61 é possível observar que a janela principal está dividida em algumas partes para facilitar a operação.

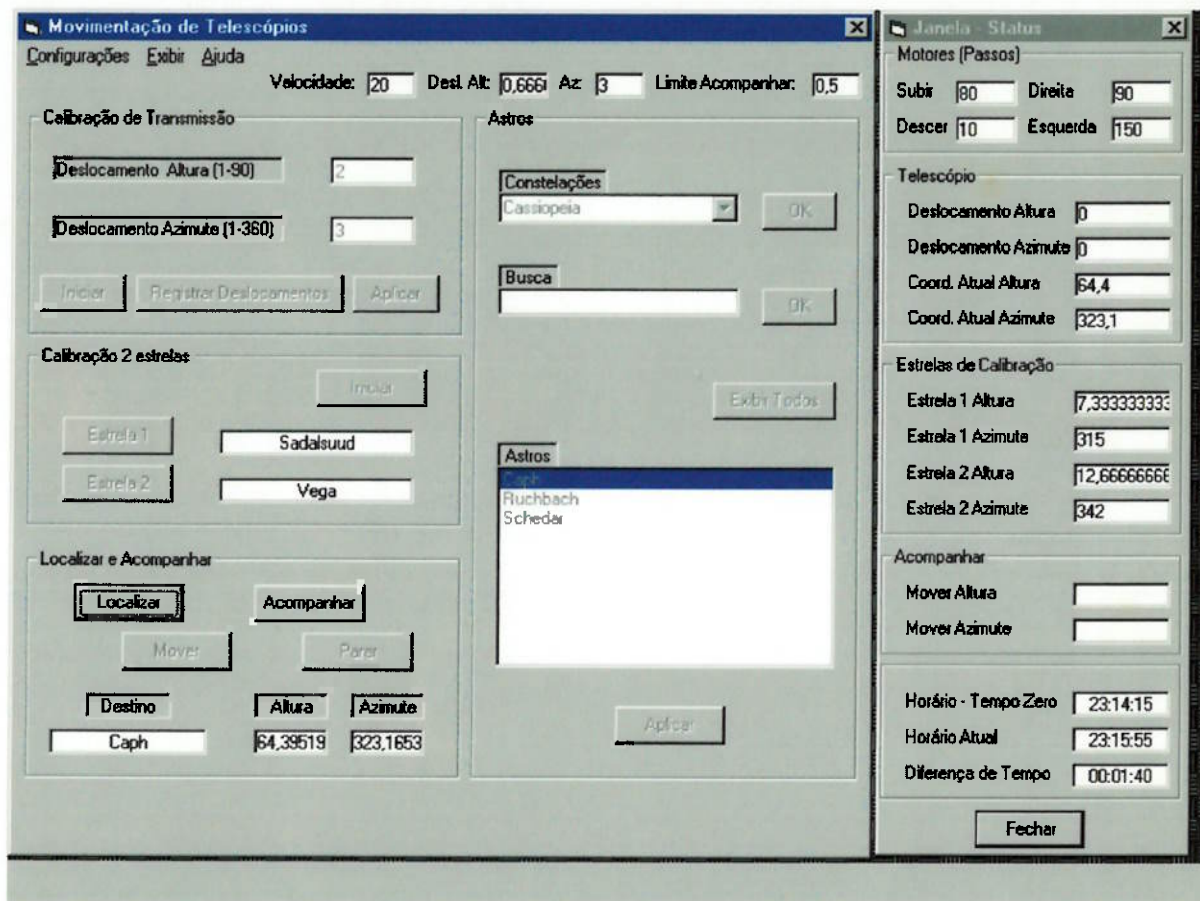


Figura 61 - Tela de interface do programa



12.1. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

Calibração de transmissão

Assim que o programa é iniciado, o usuário deve realizar a calibração da transmissão. O telescópio pode estar localizado. Clicar em Iniciar. Utilizar o teclado para movimentar os dois eixos do telescópio, um de cada vez, as teclas utilizadas são: “W” para subir, “S” para descer, “A” ir para esquerda e “D” ir para direita.

As teclas de movimento manual podem ser pressionadas a qualquer momento, e o telescópio irá mover-se de acordo com o desejado, exceto quando estas teclas estão sendo utilizadas como letras na caixa de busca. Após terminar o deslocamento desejado, clicar em Registrar Deslocamentos, as caixas de texto ficam habilitadas e então inserir os valores do deslocamento angular obtido para aquela movimentação pelo teclado em cada caixa de texto. Clicar em aplicar para que a calibração seja feita.

Caso um dos eixos não tenha sido acionado ou não tenha se deslocado, aparecerá uma mensagem indicando o erro.

Calibração 2 estrelas

Após a calibração da transmissão, o usuário deve calibrar o alinhamento com duas estrelas para que seja possível a localização dos astros.

Apontar o telescópio para a posição (0,0), que significa as coordenadas altazimutais iguais a zero. O tubo do telescópio deve estar na horizontal e pode ser apontado para qualquer lugar. Recomenda-se adotar o norte como coordenada zero de azimute para que os movimentos possam ser eventualmente acompanhados pelo usuário com um mapa celestial.



Clicar em Iniciar, aparece uma janela questionando se o telescópio está em (0,0), em caso negativo basta cancelar e posicionar o telescópio, em caso afirmativo outra janela aparecerá indicando que o usuário deve mover o telescópio até a estrela 1, para isso utilizar as teclas citadas anteriormente para movimentar os dois eixos do telescópio, até centralizar a primeira estrela. Em seguida, clicar em Estrela 1, selecionar na seção Astros a estrela que foi localizada e clicar em Aplicar (de “Astros”). Mover até a estrela 2, clicar no botão Estrela 2, selecionar na seção astros da mesma forma feita para a primeira estrela. A calibração já está feita, a partir deste momento é possível localizar qualquer astro. (Fica habilitado o botão de localizar.)

Selecionar um astro

Todos os astros são inicialmente exibidos na lista, o usuário pode diminuir a lista selecionando uma constelação na ComboBox , clicando em seguida em OK, serão exibidos os astros que fazem parte desta constelação ou digitar as primeiras letras do astro desejado na caixa de busca e clicar em OK, serão exibidos todos os astros que contém as letras digitadas. Clicar em Exibir todos para zerar as buscas e reexibir todos. Após selecionar um astro clicar em Aplicar para efetuar a ação desejada após a busca e seleção do astro.

Localizar

Para localizar qualquer astro, clicar em Localizar, selecionar o astro da mesma forma apresentada anteriormente, clicar em Aplicar. Neste momento o programa calcula a coordenada atual do astro (apresentada nas caixas de texto) e habilita o botão Mover. O usuário então decide se quer que o telescópio se movimente, basta clicar em Mover ou não deseja movimentá-lo para aquela coordenada (Pode clicar em Localizar e escolher outro astro). Caso o astro esteja fora do campo visual do telescópio, o que pode ser detectado caso sua coordenada de Altura seja negativa, e o usuário clicar em Mover, aparece uma mensagem de erro.

Ao clicar em Mover, os motores serão acionados (um de cada vez) e telescópio irá se deslocar ininterruptamente até o destino, por isso é preciso observar cuidados



necessários como risco de colisão com algum objeto, cabos que se enrolarão, antes de executar este comando. Recomenda-se não pressionar nenhuma tecla durante o processo de movimentação.

Acompanhar

A função de Acompanhar foi desenvolvida para que um astro recém-localizado possa ser acompanhado. Por isso, ao clicar neste botão, é feita a confirmação do astro a ser acompanhado. Caso seja confirmado o acompanhamento, o programa calcula as coordenadas do astro, baseando-se no tempo decorrido. A partir daí calcula-se o deslocamento necessário. Caso este deslocamento seja maior do que o limite de deslocamento configurado, o telescópio se moverá, caso contrário ele espera até que o limite seja ultrapassado. Valor padrão: 0,5 graus.

O programa continua calculando os deslocamentos necessários para acompanhamento até que o usuário clique em Parar (pode ser feito a qualquer momento), habilitado assim que se inicia a função de acompanhar.

É bom observar que dependendo do motor utilizado e das reduções pode ocorrer que um determinado limite de deslocamento (ex: 0,01graus) não possa ser utilizado pois a resolução do sistema não permite tal deslocamento.

12.2. OPÇÕES DE MENU

12.2.1. CONFIGURAÇÕES

Recalibrar

Realizar recalibração de alinhamento e transmissão, ao selecionar um destes itens são habilitados os respectivos botões iniciar de cada bloco e desabilitados todo o resto.

Velocidade



Abre uma caixa de diálogo que possibilita alterar a velocidade dos motores, o padrão é 20, valores menores resultam em maiores velocidades. Basta digitar o valor e clicar em OK. Recomenda-se testar as diferentes velocidades para determinar a mais adequada ao sistema.

Deslocamento Angular

Alterar o deslocamento em graus que ocorre quando as teclas do keyboard são pressionadas. Pode ser usado para obter melhor resolução com menores deslocamentos (meio a um grau) ou configurado para que o usuário não precise ficar pressionando as teclas continuamente caso saiba que será feito um grande deslocamento (O mesmo cuidado observado ao clicar Mover deve ser tomado pois depois que o motor inicia sua movimentação não é possível interferir).

Limite para acompanhar

Abre uma caixa de diálogo para alterar o limite para acompanhamento em graus. O valor mais adequado deve ser determinado experimentalmente pelo usuário. Valores muito grandes podem ser ineficientes pois o astro sai do campo de visão antes que a movimentação de acompanhamento seja feita, valores muito pequenos (menores que a resolução) apresentarão problemas pois considerando que o número de passos enviados ao motor é sempre inteiro e usando um limite em graus muito pequeno, o valor calculado de deslocamento necessário originará um número de passos enviados ao motor menor que 1, e no arredondamento o programa acabará enviando aos motores um número de passos igual a zero, e o acompanhamento não ocorre.

Porta paralela

Seleciona-se qual porta paralela deve ser configurada. Em geral utiliza-se a número 1, definida como padrão.

Sair

Encerrar o programa.



12.2.2. EXIBIR

Janela de Status

É possível ativar a janela de status, que exibe diversos parâmetros que possam ser úteis enquanto o telescópio estiver em operação.

12.2.3. AJUDA

Acesso ao arquivo de ajuda. (ainda não implementado)

12.3. OUTRAS INSTRUÇÕES

Certificar-se de que todas as conexões estão firmes: cabo de porta paralela entre a placa e o computador, conector da fonte de alimentação da placa, fios dos motores na placa - verificar se estão bem presos (6 por motor)

O limite mecânico do eixo de altura do telescópio é 90° e este nunca deve ser ultrapassado. Caso seja necessário ultrapassar este limite para focalizar algum astro, deve-se utilizar a movimentação do eixo azimutal.

O arquivo `astros.mdb` em Access possui os dados das estrelas e planetas que podem ser localizados automaticamente pelo protótipo. Sendo seu acesso livre, sempre que quiser o usuário poderá acrescentar outros astros bastando para isso inserir a constelação a que pertence o astro na tabela `tblConstelacao` e as coordenadas equatoriais do novo elemento na tabela `tblCoordenadas`, obedecendo o seguinte formato: RaH, RaM, RaS (coordenada Ra em horas, minutos e segundos), DeG, DeM, DeS (coordenada De em graus, minutos e segundos), não esquecendo de colocar o



nome do astro em ambas com exatamente a mesma formatação (maiúsculas/minúsculas).

Estes dados podem ser encontrados em diversos almanaques astronômicos ou podem ser exportados diretamente do programa Sky Chart III (versão demo disponível na Internet) como já comentado.

Tabela 6 – Exemplo retirado de tblConstelacao

Astro	Constelação
Netuno	Planeta
Deneb	Cygnus
Sadr	Cygnus
Altair	Aquila
Vega	Lyra
Rasalhague	Ophiuchus

Tabela 7 - Exemplo retirado de tblCoordenadas

Astro	Data	RaH	RaM	RaS	DeG	DeM	DeS
Netuno	11/12/00	20	28	1,37	-18	55	0,4
Netuno	12/12/00	20	28	8,64	-18	54	35,9
Netuno	13/12/00	20	28	15,99	-18	54	11
Netuno	14/12/00	20	28	23,42	-18	53	45,9
Netuno	15/12/00	20	28	30,95	-18	53	20,4
Netuno	16/12/00	20	28	38,56	-18	52	54,5
Netuno	17/12/00	20	28	46,25	-18	52	28,4
Netuno	18/12/00	20	28	54,03	-18	52	1,9
Deneb		20	41	25,92	45	16	49,3
Sadr		20	22	13,7	40	15	24,1
Altair		19	50	49,89	8	52	15,3
Vega		18	36	56,08	38	47	4
Rasalhague		17	34	56,08	12	33	36,1



13. TESTES

Utilizando o software SkyChart III é possível obter as coordenadas altazimutais de todos os astros, para determinadas cidades, data e horário da observação. Para testar o algoritmo, escolheu-se três localidades: Santiago, Cidade do México e San Francisco, no dia 6 de dezembro de 2000, às 20:00.

Realizou-se a calibração com as estrelas indicadas (pegando os valores das coordenadas no SkyChart e simulando a movimentação dos motores no programa) e em seguida solicitou-se a localização de outros astros, o programa então calcula as coordenadas para aquele astro. Tendo os valores indicados no SkyChart, calculou-se as variações em graus entre as coordenadas esperadas e os valores encontrados.

Tabela 8 - Resultados dos testes para Santiago

Santiago		Azimute SkyChart	Azimute Encontrado	Diferença (Graus)	Altura SkyChart	Altura Encontrada	Diferença (Graus)
Estrela 1	Altair	290,12			13,13		
Estrela 2	Canopus	137,66			25,86		
Localizar	Rigel	87,44	87,69	0,25	18,8	19,43	0,63
Localizar	Achernar	157,68	161,17	3,49	63,12	63,29	0,17
Localizar	Peacock	221	223,6	2,6	43,83	42,98	0,85
Localizar	Netuno	269,66	271	1,34	35,55	34,34	1,21
Localizar	Markab	335,2	334,64	0,56	37,65	38,46	0,81



Tabela 9 - Resultados dos testes para San Francisco

San Francisco		Azimute SkyChart	Azimute Encontrado	Diferença (Graus)	Altura SkyChart	Altura Encontrada	Diferença (Graus)
Estrela 1	Cappela	58,22			42,03		
Estrela 2	Vega	304,57			19,4		
Localizar	Caph	344,1	344,9	0,8	67,29	67,24	0,05
Localizar	Deneb	300,5	300,59	0,09	42,79	42,78	0,01
Localizar	Saturno	109,66	109,51	0,15	49,51	49,44	0,07
Localizar	Polaris	0,37	0,41	0,04	38,44	38,39	0,05
Localizar	Júpiter	98,73	98,7	0,03	44,73	44,74	0,01

Tabela 10 - Resultados dos testes para Cidade do México

Cidade do México		Azimute SkyChart	Azimute Encontrado	Diferença (Graus)	Altura SkyChart	Altura Encontrada	Diferença (Graus)
Estrela 1	Cappela	32,93			55,88		
Estrela 2	Sirius	124,3			30,65		
Localizar	Betelgeuse	105,56	106,58	1,02	55,2	54,89	0,31
Localizar	Procyon	94,83	95,95	1,12	28,87	28,35	0,52
Localizar	Júpiter	83,24	81,39	1,85	81,27	84,14	2,87
Localizar	Fomalhaut	235,12	236,64	1,52	7,06	7,71	0,65
Localizar	Canopus	155,76	155,61	0,15	9,22	9,36	0,14



14. CUSTOS DO PROJETO

Durante o projeto houve uma preocupação constante com o custo do protótipo, influenciando em decisões como montar não só o controle e a estrutura do protótipo mas também o telescópio em si, um modelo comercial com certeza sairia mais caro. Na tabela a seguir são apresentados os custos dos materiais utilizados na construção e referências sobre os locais de compra. Também está mostrado o custo total do projeto, indicando a equivalência em dólares para que possa ser mais facilmente comparado a modelos comerciais.

Tabela 11 - Custo total do projeto e referências

Material / Serviço	Custo	Referências
Espelhos do telescópio	R\$ 340,00	Sebastião Santiago 9751-9705
Tubos de Pvc e pvc (rodas e suporte)	R\$ 34,90	Plastireal Rua Florêncio de Abreu, 149
Estrutura (madeira+serviço de marcenaria)	R\$ 142,00	Peg&Faça Av. Washington Luís, 5083
Pés de borracha e tiras	R\$ 3,00	Borindus Rua Florêncio de Abreu, 494
Rolamento	R\$ 5,00	Rod Star Rua Florêncio de Abreu, 252
Tira de teflon	R\$ 2,90	Stilo Rua Florêncio de Abreu, 128
Molas	R\$ 5,00	Rua Florêncio de Abreu,
Parafusos, pregos, vareta	R\$ 15,00	AMM Parafusos Rua Florêncio de Abreu, 726
Parafusos dos motores	R\$ 3,60	Parafusos Rua Vitória, 127
Motores de passo + placa de controle	R\$ 145,00	www steppercontrol.com US\$79
Frete - motores e placa	R\$ 55,00	www steppercontrol.com US\$30
Cabo extensão	R\$ 9,20	Peg&Faça Av. Washington Luís, 5083
Tinta em spray	R\$ 17,70	Peg&Faça Av. Washington Luís, 5083
Cabo porta paralela	R\$ 4,80	Extra
Suporte teflon	R\$ 0,70	Peg&Faça Av. Washington Luís, 5083
Cola	R\$ 2,00	Peg&Faça Av. Washington Luís, 5083
Redutores	R\$ 100,00	Estimativa
TOTAL	R\$ 885,80	478,81 dólares
dólar	R\$ 1,85	



15. ANÁLISE CRÍTICA E OTIMIZAÇÃO

Após o desenvolvimento do projeto a construção de um protótipo permitiu constatar alguns problemas não previstos na teoria. O projeto de algumas peças precisaram ser modificados e a partir dos testes e simulações realizados observou-se possibilidades de melhoria no desempenho do projeto e de minimizar os erros encontrados. A seguir são descritas algumas propostas de otimização.

Utilização de Malha Fechada:

Quando o telescópio está em movimento, em algumas ocasiões o motor acaba perdendo alguns passos pois encontra alguma saliência, ou uma região de maior atrito. Neste caso, o programa enviou um determinado número de passos ao motor e os registra como um deslocamento efetuado, independente se este ocorreu ou não. Ao colocar sensores angulares nos eixos de movimento, o programa poderia obter informações a respeito do real deslocamento efetuado fazendo correções no deslocamento quando necessário.

Atrito:

Minimizando o atrito exige-se menos dos motores, inclusive motores com menores capacidade poderiam ser utilizados. Entre a estrutura e a base colocou-se pedaços de teflon, porém com a irregularidade da superfície de madeira da roda de atrito, há pontos com maiores coeficientes de atrito que acabam quebrando o movimento provocando uma ocasional perda de passo do motor. Para minimizar este atrito, pode-se revestir a superfície com materiais como fórmica, chapa de alumínio ou mesmo teflon, procurando obter um menor coeficiente de atrito.

Outra sugestão seria substituir os apoios de teflon do disco azimutal por esferas e roletes de rolamento como as mostradas na figura 59.



Figura 62 - Rolamentos para sustentação da base do protótipo

Software:

Ao executar a função de localizar, o programa calcula a coordenada para o instante em que o astro a ser localizado é selecionado e então prepara os comandos para movimentar o telescópio. Caso o astro buscado esteja longe da posição atual, pode ser que seja muito demorada a movimentação do telescópio (o motor utilizado não permite altas velocidade pois teria menor torque, por exemplo).

Propõe-se introduzir algumas modificações no algoritmo de localização em que se faria um cálculo inicial das coordenadas de destino e uma posterior análise do movimento. Caso seja constatado nesta análise que o telescópio tem que se deslocar muito, o programa deveria estimar o tempo necessário de deslocamento e refaria o cálculo da coordenada de destino levando em consideração o tempo passado deste o primeiro alinhamento mais o tempo estimado para o deslocamento dos dois eixos dos telescópio, obtendo assim coordenadas mais precisas.

Conforme testes do software indicaram, a transformação entre coordenadas funciona bem a partir do momento que as estrelas selecionadas sejam adequadas. As estrelas de calibração não devem estar muito próximas senão a transformação de coordenadas apresenta erros. Como sugestão para diminuir este erro poderia se implementar uma função que escolhida a primeira estrela de calibração pelo usuário o software retornaria uma lista de estrelas que se utilizadas como segunda estrela de calibração resultariam no menor erro possível.



16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

16.1. LIVROS E TESES

(BARROS - 91) BARROS, G. L. M. **Navegação Astronômica: fundamentos e prática.** 4ª edição, Editora Marítimas: Rio de Janeiro, 1991.

(BOCZKO - 98) BOCZKO, R. **Conceitos de Astronomia.** Editora Edgard Blücher Ltda.: São Paulo, 1984.

(HALVORSON - 98) HALVORSON, M. **Microsoft Visual Basic 6.0 Professional Passo a Passo.** Makron Books: São Paulo, 1998.

(MACIEL - 91) MACIEL, W. J. (editor). **Astronomia e Astrofísica: curso de extensão universitária.** Departamento de Astronomia - IAG/USP: São Paulo, 1991.

(MANFÉ) MANFÉ G., POZZA, R. e SCARATO, G. **Desenho Técnico Mecânico: para escolas técnicas e ciclo básico das faculdades de engenharia.** Tradução: Eng. Carlos Antônio Lauand - volume 3. Editora Hemus.

(MOURÃO - 95) MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Manual do Astrônomo: uma introdução à astronomia observacional e à construção de telescópios.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1995

(MOURÃO - 97) MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica.** 2ª edição revista e ampliada. São Paulo: Editora Nova Fronteira, 1997

(MYIAGI - 96) MIYAGI, Paulo Eigi. **Controle Programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos.** Editora Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 1996.



(NETO - 99) NETO, G. B. L. **Nota de Aula de AGA-106: Astronomia de Posição.** Instituto Astronômico e Geofísica – USP, 1999.

(NIEMANN - 71) NIEMANN, Gustav. **Elementos de Máquinas.** Tradução: Otto Alfredo Rehder - volume 3. Editora Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 1971.

(NISHIDA - 99) NISHIDA, Leiji e SIMÕES, Denis Tavares. **Projeto e Controle de um Braço de Posicionamento Horizontal com Dois Graus de Liberdade** - (Prof. Orientador: Edilson Hiroshi Tamaí). EPUSP: São Paulo, 1999.

(OGATA- 93) OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno.** Tradução: Prof. Ivan José de Albuquerque - Segunda edição – Editora Prentice Hall do Brasil: Rio de Janeiro, 1993.

16.2. ENDEREÇOS DA INTERNET

Controle de motores de passo

(<http://www.steppercontrol.com>)

Sky Chart III - programa para construção do banco de dados

(<http://www.southernstars.oom/skychart/index.html>)

Sebastião Santiago Filho - construtor de telescópios

(<http://sites.uol.com.br/telescopios>)

Motorize your Telescope: for altazimuth and equatorial mounts - by Mel Bartels

(www.efn.org/~mbartels)

Como escolher um telescópio - por Alan MacRobert (Sky&Telescope)

(<http://www.ccc.sc.usp.br/cda/telescopios/escolhendo/index-gra.html>)

Mead Instruments Corporation

(www.meade.com)

Ominislux (revendedora Meade no Brasil) - O que você poderá ver através de um telescópio

(www.omnislux.com.br/telescopio/oquever.html)



Astronomia no Brasil: reconhecimento do céu - constelações e mapas celestes - por Naelton Mendes de Araújo
(www.geocities.com/CapeCanaveral/2939/apostila.html)

Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS: introdução à astronomia e astrofísica - por Prof. Kepler de Souza Oliveira Filho e Prof.ª Maria de Fátima Oliveira Saraiva
(<http://pcgo.if.ufrgs.br/index.html>)

Modos de comunicação com um PC
(<http://www.beyonlogic.org>)

Engineering Zones: informações nas diversas áreas da engenharia
(<http://www.engineeringzones.com>)

National Instruments: informações sobre diversos instrumentos de medição e componentes para projeto de sistemas mecatrônicos
(<http://digital.ni.com>)

16.3. REVISTAS E ANUÁRIOS

BARTELS, Mel. Motorizing a Dobsonian: now the stability inherent in a simple altazimuth mount and the convenience of motorized tracking can be at the same time. *In Sky & Telescope*, Vol. 99, nº 2 - February 2000.

CICCO, Denis di e SERONIK, Gary. GoTo Telescope Showdown: once again Celestron and Meade are competing head to head with telescopes that sound remarkably similar on paper. *In Sky & Telescope*, Vol. 99, nº 4 - April, 2000.

DYER, Alan. SkySensor 2000-PC - à la Carte GoTo: a respected name from overseas enters the GoTo sweepstakes with a computerized version of a popular mount. *In Sky & Telescope*, Vol. 99, nº 4 - April, 2000.



APÊNDICE A

COMPLEMENTO: TIPOS DE TELESCÓPIOS

1. INTRODUÇÃO

Este apêndice complementa a descrição dos tipos de telescópios apresentados no item 5.1.1, que são mais difíceis de serem encontrados à venda nas lojas especializadas ou na forma de kits pelos construtores nacionais. Exatamente por isso, eles não foram considerados na seleção do objeto de controle apresentada no item 5.1.4.

2. TELESCÓPIOS REFLETORES

2.1. CASSEGRAIN

Por apresentar uma óptica muito mais complexa que o Newtoniano, o telescópio Cassegrain é de difícil construção e de preço mais elevado. Este telescópio possui um espelho primário de pequena distância focal, portanto de superfície parabólica, além de um orifício central por onde passam os raios luminosos.

Seu espelho secundário possui uma superfície convexa e de forma hiperbólica, sendo também de difícil confecção.

Ao captar a luz de um objeto o espelho primário reflete os raios luminosos para o espelho secundário. Este espelho possui a sua superfície voltada para o espelho primário, que reflete a luz novamente para o espelho principal, passando pelo orifício central. Logo atrás encontra-se a ocular e o dispositivo de foco. Portanto no telescópio Cassegrain, a observação é feita de modo semelhante a uma luneta, e não perpendicular ao tubo como no Newtoniano.

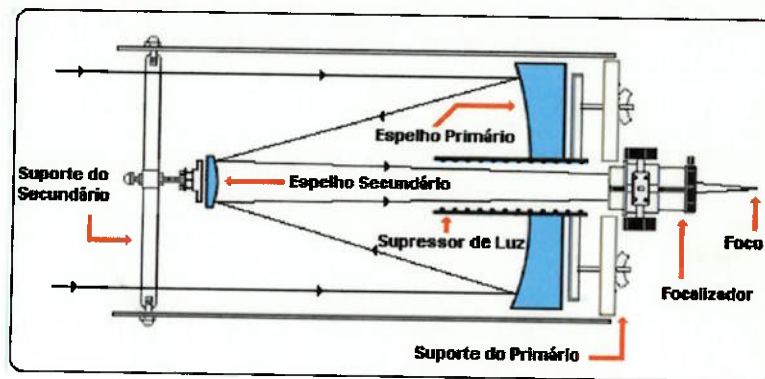


Figura 63 – Princípio de um Cassegrain

2.2. GREGORIANO

O telescópio Gregoriano também se caracteriza como um telescópio de difícil construção assim como o Cassegrain. Este instrumento também possui um espelho primário de distância focal curta e com um orifício central.

A diferença principal em relação ao Cassegrain está no espelho secundário que possui uma superfície côncava e de forma elíptica. A superfície do secundário também é voltada para o espelho principal, porém ele é colocado depois do foco do espelho primário e não antes do foco como no Cassegrain. Assim o telescópio Gregoriano apresenta um tubo com um comprimento maior se comparado com um Cassegrain com as mesmas características. O seu secundário também possui um fator de amplificação tornando este instrumento um telescópio de grande distância focal como o Cassegrain.

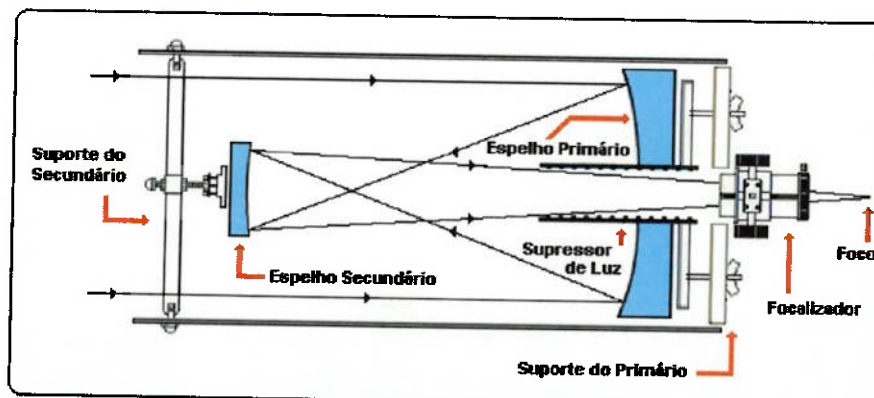


Figura 64 - Princípio de um Gregoriano



2.3. VARIAÇÕES DO CASSEGRAIN

Por ser um telescópio muito utilizado tanto por astrônomos amadores e profissionais, a óptica Cassegrain apresenta diversas variações. As variações estão nas superfícies dos espelhos primário e secundário:

- ☆ **Cassegrain Pressman-Camichel:** esférica e secundário com superfície esferóide (óptica mais simples);
- ☆ **Cassegrain Ritchey-Chrétien:** variação mais complexa com ambos os espelhos de superfície hiperbólica;
- ☆ **Cassegrain Dall-Kirkham:** óptica muito utilizada onde o espelho secundário é esférico e o primário de superfície elíptica
- ☆ **Cassegrain de Foco Coudé Curto:** tem-se a adição de um terceiro espelho de superfície plana que é colocado na frente do espelho primário, permitindo que a observação seja feita na lateral do tubo como no telescópio Newtoniano;
- ☆ **Cassegrain de Foco Coudé Longo:** é muito semelhante ao Coudé Curto. Neste telescópio o espelho primário é furado como no Cassegrain tradicional. Os raios luminosos captados pelo espelho primário são refletidos para o espelho secundário. O secundário reflete estes raios luminosos na direção do espelho principal passando pelo orifício central encontrando o espelho plano. Este último espelho reflete a luz para a lateral do tubo onde estão o focalizador e a ocular.

3. TELESCÓPIOS CATADIÓPTRICOS

3.1. MAKSUTOV

O telescópio Maksutov surgiu tomando-se como ponto de partida a óptica desenvolvida por Schmidt. No lugar da placa corretora existe um tipo de lente



chamado de **menisco divergente**. Trata-se de uma lente delgada formada por uma face côncava e outra convexa, sendo que esta última apresenta a sua superfície voltada na direção do espelho primário do telescópio.

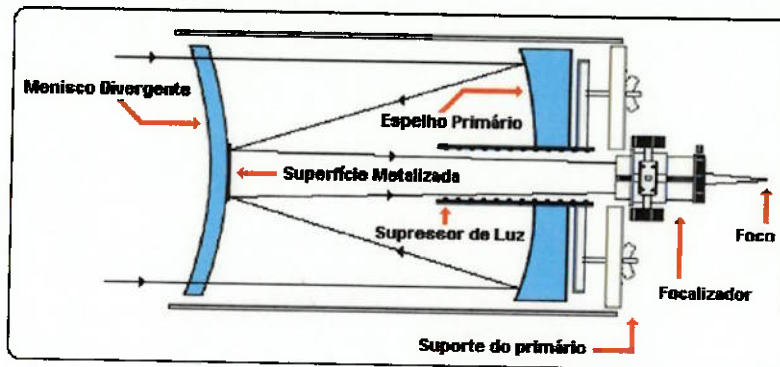


Figura 65 - Princípio de um Maksutov

Como a superfície interna desse menisco é convexa, pode-se metalizar apenas o seu centro tendo desta forma um espelho convexo que funciona como um secundário igual ao do Cassegrain.

3.2. MAKSUTOV-CASSEGRAIN

Partindo da óptica do Maksutov, pode-se além de metalizar a face convexa do menisco, colocar um espelho secundário independente deste, tornando possível a obtenção distâncias focais diferentes. Dá-se o nome a este instrumento de **Maksutov-Cassegrain**.

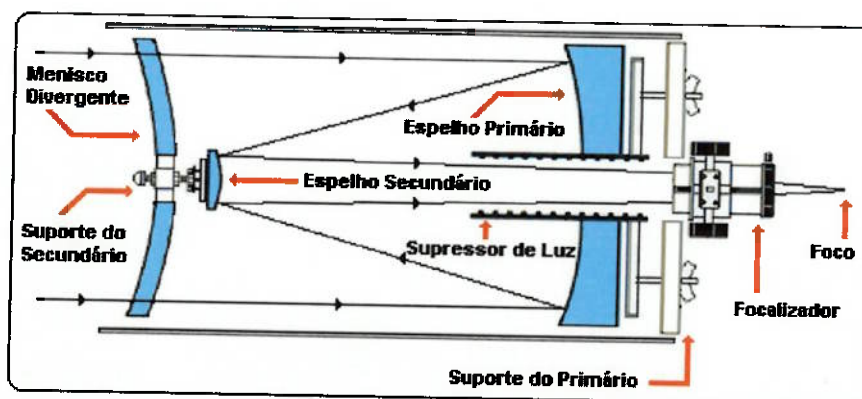


Figura 66 - Princípio de um Maksutov-Cassegrain



APÊNDICE B

COMPLEMENTO: ACESSÓRIOS PARA TELESCÓPIOS

Neste item serão apresentados três dos acessórios mais utilizados pelos astrônomos amadores e profissionais durante a observação do céu: as oculares, as lunetas buscadoras e o focalizador.






1. OCULARES

Uma ocular é o acessório responsável pela formação final da imagem do telescópio. O funcionamento deste componente é semelhante ao de uma lupa à medida que amplia a imagem formada pela objetiva do instrumento. Um telescópio pode apresentar várias oculares com distâncias focais diferentes, funcionando assim com diversos aumentos.

As diversas oculares encontradas no mercado diferem principalmente uma das outras através de três fatores: o padrão de encaixe, a distância focal e o tipo de óptica. Na Tabela 12 encontra-se as descrições das principais ópticas encontradas.



Tabela 12 – Tipos de oculares

OCULAR	DESCRIÇÃO
<p>Ocular tipo Kellner</p> 	<p>Formada por 3 lentes, um dubleto acromático (duas lentes) e uma lente simples. Oferece boas imagens com um campo aparente de 45° .</p>
<p>Ocular tipo Ortoscópica</p> 	<p>Formada por 4 lentes, um tripleto (3 lentes) e uma lente simples. Apresenta boas imagens com maior correção da aberração cromática devido ao tripleto. Campo visual aparente de 45° .</p>
<p>Ocular tipo Plossl</p> 	<p>Considerada por muitos a mais popular entre todas as oculares. Constituída por 4 lentes (dois dubletos acromáticos) esta ocular oferece ótimas imagens com grande correção de todas as aberrações. Campo visual aparente de 50° .</p>
<p>Ocular tipo Erfle</p> 	<p>Ocular de óptica mais complexa formada por 5 ou 6 lentes. Apresenta um campo visual que varia de 60 a 70° , trabalhando com grandes áreas do céu sendo um tipo ideal para observação de objetos extensos como nebulosas, galáxias, aglomerados estelares e cometas.</p>
<p>Ocular tipo Nagler</p> 	<p>Considerada a ocular mais sofisticada formada por até oito lentes. Este tipo de óptica proporciona imagens excelentes com correção de todas as aberrações. Por apresentar um enorme campo visual de até 85° , a ocular Nagler também é ideal para o estudo de objetos extensos.</p>



2. FOCALIZADOR



Figura 67 – Focalizador

Este acessório mecânico também conhecido como porta - ocular, é o responsável pela sustentação da ocular e focalização da imagem. Esta peça é formada por dois tubos: um fixo ao tubo do telescópio por meio de parafusos, e outro que desliza suavemente no interior do primeiro. Neste último tubo coloca-se a ocular e a focalização da imagem é feita por meio de dois botões que acionam um mecanismo de Cremalheira.

Os focalizadores também apresentam padrões de encaixes variados podendo trabalhar com vários tipos de oculares, além de permitir a colocação de filtros em sua parte inferior .

3. LUNETA BUSCADORA



Figura 68 - Luneta buscadora

Como os telescópios trabalham com grandes aumentos e consequentemente com campos visuais pequenos, em muitos casos a localização dos objetos se torna um pouco difícil. Para resolver este problema dispõe-se de uma pequena luneta colocada paralelamente ao tubo do telescópio, este componente chamado de Luneta Buscadora.

Esta luneta, por apresentar pouca ampliação (cinco vezes em média) oferece um grande campo visual, tornando mais fácil a localização dos objetos. As buscadoras apresentam dimensões variadas e os mais comuns possuem diâmetros que variam de 25 a 50 mm.



A ocular da buscadora é dotada de um retículo, que serve como ponto de referência no momento em que se mira o astro a ser observado. Para que a localização seja bem sucedida, os parafusos que sustentam a luneta devem ser ajustado de tal forma que o seu eixo óptico fique alinhado com o eixo óptico do telescópio. Dessa forma, ao posicionar um astro no centro do campo de visão da luneta pode-se ter certeza que este estará no campo de visão do telescópio ao se olhar através da ocular que possui maior aumento e menor campo de visão.



APÊNDICE C

CÓDIGO DO PROGRAMA

Form 1

```

Dim dbAstros As Database
Dim rsConst As Recordset
Dim rsAstros As Recordset
Dim rsCoord As Recordset
Dim rsConstSel As Recordset
Dim Ra(3) 'Recebe as coordenadas do astro
Dim De(3)
Dim Alt(3)
Dim Az(3)
Dim DeltaT(3) 'Diferença entre o tempo atual e o primeiro alinhamento
Dim X(3, 3) 'Matriz com coordenadas Ra e De cartesianas
Dim Xinv(3, 3) 'Matriz X inversa
Dim Y(3, 3) 'Matriz com coordenadas Az e Alt cartesianas
Dim t(3, 3) 'Matriz de transformada Ra, De para Alt, Az
Dim Aux(3, 3) 'Matriz auxiliar

Private Sub Form_Load()
k = 1.002738
rad = 57.2958
Tempo_Zero = 0
speed_val = 20
Passos_Alt_Key = 10
Passos_Az_Key = 10
Set_PP_1
Acompanha = 0
LimiteAcomp = 0.5
Label15.Caption = speed_val
Label19.Caption = LimiteAcomp
Set dbAstros = OpenDatabase("C:\Arquivos de Programas\Telescópio\astros.mdb")
SQLQuery1 = "SELECT DISTINCT Constelação FROM tblConstelacao ORDER BY Constelação"
SQLQuery2 = "SELECT * FROM tblConstelacao ORDER BY Astro"
Set rsConst = dbAstros.OpenRecordset(SQLQuery1)
Set rsAstros = dbAstros.OpenRecordset(SQLQuery2)

Do Until rsConst.EOF = True
Combo1.AddItem rsConst.Fields("Constelação")
rsConst.MoveNext
Loop

Do Until rsAstros.EOF = True
List1.AddItem rsAstros.Fields("Astro")
rsAstros.MoveNext
Loop

End Sub

'Mostra no List box os astros que se enquadram na busca
Private Sub OKbusca_Click()

List1.Clear
SQLQuery3 = "SELECT*FROM tblConstelacao WHERE Astro LIKE '" + Text3.Text + "'*ORDER BY Astro "
Set rsAstros = dbAstros.OpenRecordset(SQLQuery3)
Do Until rsAstros.EOF = True
List1.AddItem rsAstros.Fields("Astro")
rsAstros.MoveNext
Loop
If rsAstros.NoMatch = True Then Exit Sub
Text3.Text = ""
End Sub
'Mostra no List Box os astros pertencentes ao grupo selecionado em combobox
Private Sub OKConst_Click()

```



```
List1.Clear
SQLQuery4 = "SELECT * FROM tblConstelacao WHERE Constelação LIKE '" + Combo1.Text + "' ORDER BY Astro"
Set rsAstros = dbAstros.OpenRecordset(SQLQuery4)
Do Until rsAstros.EOF = True
List1.AddItem rsAstros.Fields("Astro")
rsAstros.MoveNext
Loop

End Sub
'Mostra todos os astros do banco de dados
Private Sub Exibir_Click()

List1.Clear
SQLQuery5 = "SELECT * FROM tblConstelacao ORDER BY Astro"
Set rsAstros = dbAstros.OpenRecordset(SQLQuery5)
Do Until rsAstros.EOF = True
List1.AddItem rsAstros.Fields("Astro")
rsAstros.MoveNext
Loop
End Sub

'Movimentação dos motores por Keyboard
Private Sub Form_KeyDown(KeyCode As Integer, Shift As Integer)

Select Case KeyCode

Case vbKeyW
set_motor1_direction (0)
Rotate_Motor1
Passo_N = Passo_N + Passos_Alt_Key
Form2.Label1.Caption = Passo_N

Case vbKeyS
set_motor1_direction (1)
Rotate_Motor1
Passo_S = Passo_S + Passos_Alt_Key
Form2.Label2.Caption = Passo_S

Case vbKeyD
set_motor2_direction (0)
Rotate_Motor2
Passo_L = Passo_L + Passos_Az_Key
Form2.Label3.Caption = Passo_L

Case vbKeyA
set_motor2_direction (1)
Rotate_Motor2
Passo_O = Passo_O + Passos_Az_Key
Form2.Label4.Caption = Passo_O

End Select
Desl_Key_Alt = (Passo_N - Passo_S) * Rel1
Desl_Key_Az = (Passo_L - Passo_O) * Rel2

End Sub

'Calibração da Transmissão
Private Sub InicTrans_Click()
InicTrans.Enabled = False
AplTrans.Enabled = False
RegTrans.Enabled = True
Passos
Rel1 = 0
Rel2 = 0

End Sub
'Registrar os deslocamentos em cada eixo
Private Sub RegTrans_Click()
If (Passo_N = 0 And Passo_S = 0) Or (Passo_L = 0 And Passo_O = 0) Then
Beep
MsgBox ("Movimentar os dois eixos antes de registrar!"), , "Erro 1"
Else
If Passo_N - Passo_S = 0 Or Passo_L - Passo_O = 0 Then
Beep
MsgBox ("Deslocamento precisa ser diferente de zero!"), , "Erro 2"
```



```

Else
Text1.Enabled = True
RegTrans.Enabled = False
End If
End If
End Sub

Private Sub Text1_Change()
Text2.Enabled = True
End Sub

Private Sub Text2_Change()
AplTrans.Enabled = True
End Sub
'Cálculo das relações de transmissão
Private Sub AplTrans_Click()

If (Text1.Text < 1 Or Text1.Text > 90 Or Text2.Text < 1 Or Text2.Text > 360) Then
Beep
MsgBox ("Deslocamento Altura:(1-90graus) e Deslocamento Azimute:(1-360graus)",, "Erro 3"
Else
Text1.Enabled = False
Text2.Enabled = False
AplTrans.Enabled = False
Rel1 = Text1.Text / Abs(Passo_N - Passo_S)
Rel2 = Text2.Text / Abs(Passo_L - Passo_O)
Passos
InicEstrela.Enabled = True
mnuDesloc.Enabled = True
Label17.Caption = Passos_Alt_Key * Rel1
Label21.Caption = Passos_Az_Key * Rel2
End If
End Sub
'Calibração de Alinhamento
Private Sub InicEstrela_Click()

If MsgBox("Telescópio em (0,0)?", vbOKCancel, "Calibração") = vbOK Then
Passos
Desl_Key_Alt = 0
Desl_Key_Az = 0
Scope_Alt = 0
Scope_Az = 0

MsgBox ("Mover até Estrela 1"),, "Calibração"
InicEstrela.Enabled = False
Estrela1.Enabled = True
End If
End Sub
'Confirmar posicionamento estrela 1
Private Sub Estrela1_Click()

Posicao_Telescopio Desl_Key_Alt, Desl_Key_Az
Form2.Label27.Caption = Scope_Alt
Form2.Label28.Caption = Scope_Az
Alt(1) = Scope_Alt
Az(1) = 360 - Scope_Az

Tempo_Zero = Time
DeltaT(1) = 0
Form2.Label19.Caption = Tempo_Zero

Estrela1.Enabled = False
MsgBox ("Selecionar Estrela 1"),, "Calibração"
SelecionarAstro (True)
Estrela = "1"

End Sub
'Exibir Status on line
Private Sub Timer1_Timer()

Form2.Label20.Caption = Time
If Tempo_Zero <> 0 Then Form2.Label26.Caption = Format(Time - Tempo_Zero, "hh:mm:ss")
Form2.Label15.Caption = Desl_Key_Alt
Form2.Label16.Caption = Desl_Key_Az

```



```
Form2.Label17.Caption = Scope_Alt
Form2.Label18.Caption = Scope_Az
```

```
End Sub
```

```
'Enviar coordenadas da estrela selecionada
```

```
Private Sub SelectEst_Click()
```

```
'Constelacao do astro selecionado para verificar se é planeta
```

```
SQLQuery6 = "SELECT*FROM tblConstelacao WHERE Astro LIKE " + List1.Text + ""
```

```
Set rsConstSel = dbAstros.OpenRecordset(SQLQuery6)
```

```
If rsConstSel.Fields("Constelação") = "Planeta" Then 'Se for um planeta, considerar a data
```

```
DataAtual = Format(Date, "dd/mm/yy")
```

```
SQLQuery7 = "SELECT*FROM tblCoordenadas WHERE (Astro LIKE " + List1.Text + " AND Data LIKE " + DataAtual + ""
```

```
Set rsCoord = dbAstros.OpenRecordset(SQLQuery7)
```

```
Else
```

```
SQLQuery8 = "SELECT*FROM tblCoordenadas WHERE Astro LIKE " + List1.Text + ""
```

```
Set rsCoord = dbAstros.OpenRecordset(SQLQuery8)
```

```
End If
```

```
If Estrela = "1" Or Estrela = "2" Then
```

```
If MsgBox("Estrela " + Estrela + " = " + rsCoord.Fields("Astro") + "?", vbOKCancel, "Calibração") = vbOK Then
```

```
If Estrela = "1" Then
```

```
Label3.Caption = rsCoord.Fields("Astro")
```

```
RaH = rsCoord.Fields("RaH")
```

```
RaM = rsCoord.Fields("RaM")
```

```
RaS = rsCoord.Fields("RaS")
```

```
DeG = rsCoord.Fields("DeG")
```

```
DeM = rsCoord.Fields("DeM")
```

```
DeS = rsCoord.Fields("DeS") 'Coordenadas estrela 1
```

```
Ra(1) = 15 * (RaH + (RaM / 60) + (RaS / 3600))
```

```
De(1) = (DeG + (DeM / 60) + (DeS / 3600))
```

```
Estrela2.Enabled = True
```

```
MsgBox ("Mover até Estrela 2"), , "Calibração"
```

```
End If
```

```
If Estrela = "2" Then
```

```
Label4.Caption = rsCoord.Fields("Astro")
```

```
RaH = rsCoord.Fields("RaH")
```

```
RaM = rsCoord.Fields("RaM")
```

```
RaS = rsCoord.Fields("RaS")
```

```
DeG = rsCoord.Fields("DeG")
```

```
DeM = rsCoord.Fields("DeM")
```

```
DeS = rsCoord.Fields("DeS") 'Coordenadas estrela 2
```

```
Ra(2) = 15 * (RaH + (RaM / 60) + (RaS / 3600))
```

```
De(2) = (DeG + (DeM / 60) + (DeS / 3600))
```

```
For I = 1 To 2
```

```
De(0) = De(I) / rad 'Transformação para Radianos
```

```
Ra(0) = (Ra(I) - k * DeltaT(I) * 15) / rad
```

```
Alt(0) = Alt(I) / rad
```

```
Az(0) = Az(I) / rad
```

```
X(1, I) = Cos(De(0)) * Cos(Ra(0)) 'Calculo coordenadas cartesianas em matriz
```

```
X(2, I) = Cos(De(0)) * Sin(Ra(0)) 'Coordenadas Equatoriais
```

```
X(3, I) = Sin(De(0))
```

```
Y(1, I) = Cos(Alt(0)) * Cos(Az(0)) 'Coordenadas Altazimutais
```

```
Y(2, I) = Cos(Alt(0)) * Sin(Az(0))
```

```
Y(3, I) = Sin(Alt(0))
```

```
Next I
```

```
X(1, 3) = X(2, 1) * X(3, 2) - X(3, 1) * X(2, 2) 'Completar a matriz - "terceira"
```

```
X(2, 3) = X(3, 1) * X(1, 2) - X(1, 1) * X(3, 2) 'estrela por produto vetorial
```

```
X(3, 3) = X(1, 1) * X(2, 2) - X(2, 1) * X(1, 2) 'Coordenadas Equatoriais
```

```
A = Sqr(X(1, 3) ^ 2 + X(2, 3) ^ 2 + X(3, 3) ^ 2)
```

```
For I = 1 To 3
```

```
X(I, 3) = X(I, 3) / A
```

```
Next I
```

```
Y(1, 3) = Y(2, 1) * Y(3, 2) - Y(3, 1) * Y(2, 2) 'Completar a matriz - "terceira"
```

```
Y(2, 3) = Y(3, 1) * Y(1, 2) - Y(1, 1) * Y(3, 2) 'estrela por produto vetorial
```

```
Y(3, 3) = Y(1, 1) * Y(2, 2) - Y(2, 1) * Y(1, 2) 'Coordenadas Altazimutais
```

```
A = Sqr(Y(1, 3) ^ 2 + Y(2, 3) ^ 2 + Y(3, 3) ^ 2)
```

```
For I = 1 To 3
```

```
Y(I, 3) = Y(I, 3) / A
```

```
Next I
```

```
For I = 1 To 3
```

```
For J = 1 To 3
```



```

Aux(I, J) = X(I, J)
Next J
Next I 'Calculo do determinante de X
Det = Aux(1, 1) * Aux(2, 2) * Aux(3, 3) + Aux(1, 2) * Aux(2, 3) * Aux(3, 1) + Aux(1, 3) * Aux(2, 1) * Aux(3, 2)
Det = Det - Aux(1, 3) * Aux(2, 2) * Aux(3, 1) - Aux(1, 1) * Aux(3, 2) * Aux(2, 3) - Aux(1, 2) * Aux(2, 1) * Aux(3, 3)
DetX = Det
For M = 1 To 3 'Calculo da matriz X-1 inversa
For I = 1 To 3
For J = 1 To 3
Aux(I, J) = X(I, J) 'Auxiliar recebe X
Next J
Next I
For N = 1 To 3
Aux(1, M) = 0
Aux(2, M) = 0
Aux(3, M) = 0
Aux(N, M) = 1 'Auxiliar recebe 1 só para aux(n,m)
Det = Aux(1, 1) * Aux(2, 2) * Aux(3, 3) + Aux(1, 2) * Aux(2, 3) * Aux(3, 1) + Aux(1, 3) * Aux(2, 1) * Aux(3, 2)
Det = Det - Aux(1, 3) * Aux(2, 2) * Aux(3, 1) - Aux(1, 1) * Aux(3, 2) * Aux(2, 3) - Aux(1, 2) * Aux(2, 1) * Aux(3, 3)
Xinv(M, N) = Det / DetX 'Det c/ o determinante de Aux (cofatores) e DetX determinante de X
Next N
Next M
For I = 1 To 3 'Zerar matriz transformada
For J = 1 To 3
t(I, J) = 0
Next J
Next I
For I = 1 To 3 'Calcular Matriz Transformada (mult de matrizes)
For J = 1 To 3
For L = 1 To 3
t(I, J) = t(I, J) + Y(I, L) * Xinv(L, J)
Next L
Next J
Next I
Localiza.Enabled = True
End If
Else
Exit Sub
End If 'End if confirmar estrela
End If 'End if estrela 1 ou 2

If Estrela = "3" Then 'Se for localizar uma estrela
If MsgBox("Localizar " + rsCoord.Fields("Astro") + "?", vbOKCancel, "Localizar") = vbOK Then
Label13.Caption = rsCoord.Fields("Astro")
DeltaT(3) = Hour(Time - Tempo_Zero) + Minute(Time - Tempo_Zero) / 60 + Second(Time - Tempo_Zero) / 3600
'Tempo desde o primeiro alinhamento
RaH = rsCoord.Fields("RaH")
RaM = rsCoord.Fields("RaM")
RaS = rsCoord.Fields("RaS")
DeG = rsCoord.Fields("DeG")
DeM = rsCoord.Fields("DeM")
DeS = rsCoord.Fields("DeS") 'Coordenadas estrela a ser localizada
Ra(3) = 15 * (RaH + (RaM / 60) + (RaS / 3600))
De(3) = (DeG + (DeM / 60) + (DeS / 3600))
De(0) = De(3) / rad
Ra(0) = (Ra(3) - k * DeltaT(3) * 15) / rad

X(1, 1) = Cos(De(0)) * Cos(Ra(0)) 'Vetor com coordenadas astro a localizar
X(2, 1) = Cos(De(0)) * Sin(Ra(0))
X(3, 1) = Sin(De(0))
Y(1, 1) = 0
Y(2, 1) = 0
Y(3, 1) = 0
For I = 1 To 3
For J = 1 To 3
Y(I, 1) = Y(I, 1) + t(I, J) * X(J, 1) 'Multiplicação pela transformada
Next J
Next I
A = Sqr(Y(1, 1) * Y(1, 1) + Y(2, 1) * Y(2, 1))
If A = 0 And Y(3, 1) > 0 Then Alt(3) = 90
If A = 0 And Y(3, 1) < 0 Then Alt(3) = -90
If A <> 0 Then Alt(3) = ((Atn(Y(3, 1) / A)) * rad)

If A = 0 Then Az(3) = 1000
If A <> 0 And Y(1, 1) = 0 And Y(2, 1) > 0 Then Az(3) = 90

```



```

If A <> 0 And Y(1, 1) = 0 And Y(2, 1) < 0 Then Az(3) = 270
If Y(1, 1) > 0 Then Az(3) = (Atn(Y(2, 1) / Y(1, 1)) * rad)
If Y(1, 1) < 0 Then Az(3) = (Atn(Y(2, 1) / Y(1, 1)) * rad + 180)
Az(3) = Az(3) - Int(Az(3) / 360) * 360
Az(3) = 360 - Az(3)
Label8.Caption = Alt(3)
Label9.Caption = Az(3)
Mover.Enabled = True
Else
Exit Sub
End If 'end if confirmação da estrela
End If 'end if estrela =3

SelecionarAstro (False)
Form1.KeyPreview = True
End Sub
'Confirmar posicionamento estrela 2 e calcular matriz
Private Sub Estrela2_Click()

Posicao_Telescopio Desl_Key_Alt, Desl_Key_Az
Form2.Label29.Caption = Scope_Alt
Form2.Label30.Caption = Scope_Az
Alt(2) = Scope_Alt
Az(2) = 360 - Scope_Az
DeltaT(2) = Hour(Time - Tempo_Zero) + Minute(Time - Tempo_Zero) / 60 + Second(Time - Tempo_Zero) / 3600

Estrela2.Enabled = False
MsgBox ("Selecionar Estrela 2"), , "Calibração"
SelecionarAstro (True)
Estrela = "2"
End Sub
'Localiza a estrela selecionada
Private Sub Localiza_Click()
Posicao_Telescopio Desl_Key_Alt, Desl_Key_Az
MsgBox ("Selecionar astro a localizar"), , "Localizar"
SelecionarAstro (True)
Estrela = "3"

End Sub
'Executar o comando de mover o telescópio
Private Sub Mover_Click()
Posicao_Telescopio Desl_Key_Alt, Desl_Key_Az
If Alt(3) < 0 Then
Beep
MsgBox ("Este astro está fora do campo visual!"), , "Erro 4"
Else
MoverAlt = Alt(3) - Scope_Alt 'Diferença entre posição desejada e atual
MoverAz = Az(3) - Scope_Az
PassosAltAux = Passos_Alt_Key
PassosAzAux = Passos_Az_Key

If MoverAlt < 0 Then 'Movimentação de altura
Passos_Alt_Key = (-MoverAlt) / Rel1
set_motor1_direction (1)
Rotate_Motor1
Passos_Alt_Key = MoverAlt / Rel1
Else
Passos_Alt_Key = MoverAlt / Rel1
set_motor1_direction (0)
Rotate_Motor1
End If

'Movimentação de Azimute
If MoverAz > 180 Then MoverAz = MoverAz - 360 'Deslocamento Az sempre < 180
If MoverAz < -180 Then MoverAz = 360 + MoverAz
If MoverAz < 0 Then
Passos_Az_Key = (-MoverAz) / Rel2
set_motor2_direction (1)
Rotate_Motor2
Passos_Az_Key = MoverAz / Rel2
Else
Passos_Az_Key = MoverAz / Rel2
set_motor2_direction (0)
Rotate_Motor2
End If

```



```

Posicao_Telescopio Passos_Alt_Key * Rel1, Passos_Az_Key * Rel2
Passos_Alt_Key = PassosAltAux
Passos_Az_Key = PassosAzAux
End If
Mover.Enabled = False
Acompanhar.Enabled = True
mnuLimiteAcomp.Enabled = True
End Sub

'Comando para acompanhar o astro
Private Sub Acompanhar_Click()
Posicao_Telescopio Desl_Key_Alt, Desl_Key_Az
If MsgBox("Acompanhar " + rsCoord.Fields("Astro") + "?" , vbOKCancel, "Acompanhar") = vbOK Then
Acompanha = 1
Acompanhar.Enabled = False
Parar.Enabled = True
Localiza.Enabled = False
Else
Exit Sub
End If
End Sub

'Comando para parar de acompanhar
Private Sub Parar_Click()
Acompanha = 0
Acompanhar.Enabled = True
Parar.Enabled = False
Localiza.Enabled = True
End Sub

'Timer para controlar o acompanhamento
Private Sub Timer2_Timer()
If Acompanha = 1 Then
DeltaT(3) = Hour(Time - Tempo_Zero) + Minute(Time - Tempo_Zero) / 60 + Second(Time - Tempo_Zero) / 3600
'Tempo desde o primeiro alinhamento
Ra(0) = (Ra(3) - k * DeltaT(3) * 15) / rad
X(1, 1) = Cos(De(0)) * Cos(Ra(0)) 'Vetor com coordenadas astro a acompanhar
X(2, 1) = Cos(De(0)) * Sin(Ra(0))
For I = 1 To 3
For J = 1 To 3
Y(I, 1) = Y(I, 1) + t(I, J) * X(J, 1) 'Multiplicação pela transformada
Next J
Next I
A = Sqr(Y(1, 1) * Y(1, 1) + Y(2, 1) * Y(2, 1))
If A = 0 And Y(3, 1) > 0 Then Alt(3) = 90
If A = 0 And Y(3, 1) < 0 Then Alt(3) = -90
If A <> 0 Then Alt(3) = (Atn(Y(3, 1) / A)) * rad
If A = 0 Then Az(3) = 1000
If A <> 0 And Y(1, 1) = 0 And Y(2, 1) > 0 Then Az(3) = 90
If A <> 0 And Y(1, 1) = 0 And Y(2, 1) < 0 Then Az(3) = 270
If Y(1, 1) > 0 Then Az(3) = (Atn(Y(2, 1) / Y(1, 1)) * rad)
If Y(1, 1) < 0 Then Az(3) = (Atn(Y(2, 1) / Y(1, 1)) * rad + 180)
Az(3) = Az(3) - Int(Az(3) / 360) * 360
Az(3) = 360 - Az(3)

MoverAlt = Alt(3) - Scope_Alt 'Diferença entre posição desejada e atual
MoverAz = Az(3) - Scope_Az
Form2.Label33.Caption = MoverAlt
Form2.Label34.Caption = MoverAz
PassosAltAux = Passos_Alt_Key
PassosAzAux = Passos_Az_Key
If MoverAlt > LimiteAcomp Or MoverAz > LimiteAcomp Or MoverAlt < -LimiteAcomp Or MoverAz < -LimiteAcomp Then
If MoverAlt < 0 Then 'Movimentação de altura
Passos_Alt_Key = (-MoverAlt) / Rel1
set_motor1_direction (1)
Rotate_Motor1
Passos_Alt_Key = MoverAlt / Rel1
Else
Passos_Alt_Key = MoverAlt / Rel1
set_motor1_direction (0)
Rotate_Motor1
End If
'Movimentação de Azimute
If MoverAz > 180 Then MoverAz = MoverAz - 360 'Deslocamento Az sempre < 180
If MoverAz < -180 Then MoverAz = 360 + MoverAz
If MoverAz < 0 Then

```



```
Passos_Az_Key = (-MoverAz) / Rel2
set_motor2_direction (1)
Rotate_Motor2
Passos_Az_Key = MoverAz / Rel2
Else
Passos_Az_Key = MoverAz / Rel2
set_motor2_direction (0)
Rotate_Motor2
End If
Posicao_Telescopio Passos_Alt_Key * Rel1, Passos_Az_Key * Rel2
Passos_Alt_Key = PassosAltAux
Passos_Az_Key = PassosAzAux
End If
End If
End Sub
```

```
'Comandos de menu
Private Sub mnuAlin_Click()
InicTrans.Enabled = False
AplTrans.Enabled = False
RegTrans.Enabled = False
InicEstrela.Enabled = True
Estrela1.Enabled = False
Estrela2.Enabled = False
SelecionarAstro (False)
Form1.KeyPreview = True
Localiza.Enabled = False
Mover.Enabled = False
Acompanhar.Enabled = False
Parar.Enabled = False
End Sub
```

```
'Permite a recalibração da transmissão
Private Sub mnuTrans_Click()
InicTrans.Enabled = True
AplTrans.Enabled = False
RegTrans.Enabled = False
Text1.Enabled = False
Text2.Enabled = False
InicEstrela.Enabled = False
Estrela1.Enabled = False
Estrela2.Enabled = False
SelecionarAstro (False)
Form1.KeyPreview = True
Localiza.Enabled = False
Mover.Enabled = False
Acompanhar.Enabled = False
Parar.Enabled = False
End Sub
```

```
'Define a velocidade dos motores
Private Sub mnuVeloc_Click()
speed = InputBox("Velocidade de rotação", "Velocidade")
If speed <> "" Then speed_val = speed
Label15.Caption = speed_val
End Sub
```

```
'Define o deslocamento por tecla do keyboard
Private Sub mnuDesloc_Click()
Desl = InputBox("Deslocamento em Altura [0-20] graus por tecla do keyboard. ", "Deslocamento Angular")
If Desl <> "" Then Passos_Alt_Key = Desl / Rel1
Desl = InputBox("Deslocamento em Azimute [0-20] graus por tecla do keyboard. ", "Deslocamento Angular")
If Desl <> "" Then Passos_Az_Key = Desl / Rel2
Label17.Caption = Passos_Alt_Key * Rel1
Label21.Caption = Passos_Az_Key * Rel2
End Sub
```

```
'Define o limite angular para que haja acompanhamento
Private Sub mnuLimiteAcomp_Click()
Lim = InputBox("Limite Angular(em graus) para acompanhamento.", "Limite para Acompanhamento")
If Lim <> "" Then LimiteAcomp = Lim * 1
Label19.Caption = LimiteAcomp
End Sub
```

```
'Configura p/ usar porta paralela 1
```



```

Private Sub mnuPP1_Click()
mnuPP1.Checked = True
mnuPP2.Checked = False
mnuPP3.Checked = False
Set_PP_1
End Sub

'Configura p/ usar porta paralela 2
Private Sub mnuPP2_Click()
mnuPP1.Checked = False
mnuPP2.Checked = True
mnuPP3.Checked = False
Set_PP_2
End Sub

'Configura p/ usar porta paralela 3
Private Sub mnuPP3_Click()
mnuPP1.Checked = False
mnuPP2.Checked = False
mnuPP3.Checked = True
Set_PP_3
End Sub

Private Sub mnuSair_Click()
End
End Sub

'Exibe a janela de status
Private Sub mnuStat_Click()
If (mnuStat.Checked = True) Then
mnuStat.Checked = False
Form2.Hide
Else
mnuStat.Checked = True
Form2.Show
End If
End Sub

```

Motor

```

Public fForm1 As Form1

Declare Sub set_motor1_direction Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#51" (ByVal t As Long)
Declare Sub set_motor2_direction Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#52" (ByVal t As Long)
Declare Sub set_delay_time Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#50" (ByVal t As Long)
Declare Sub set_controller1 Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#48" (ByVal t As Long)
Declare Sub fnTurn_motor1 Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#32" (ByVal t As Long)
Declare Sub fnTurn_motor2 Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#33" (ByVal t As Long)
Declare Function get_motor1_direction Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#40" () As Long
Declare Function get_motor2_direction Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#41" () As Long
Declare Function get_delay_time Lib "c:\Arquivos de Programas\Telescópio\StepperMotor.dll" Alias "#36" () As Long

Public speed_val As Integer
Public Passos_Alt_Key As Integer 'numero de passos alt, usando teclado
Public Passos_Az_Key As Integer 'numero de passos az, usando teclado
Public PassosAltAux As Integer 'numero de passos auxiliar
Public PassosAzAux As Integer 'numero de passos auxiliar

Sub Main()
Dim TT

End Sub

Sub Rotate_Motor1()

Set_Speed
fnTurn_motor1 (Passos_Alt_Key)

End Sub

Sub Rotate_Motor2()

```



```
Set_Speed
fnTurn_motor2 (Passos_Az_Key)

End Sub

Sub Set_Speed()

    set_delay_time (speed_val)

End Sub
Sub Set_PP_1()
    set_controller1 (1)
End Sub
Sub Set_PP_2()
    set_controller1 (2)
End Sub

Sub Set_PP_3()
    set_controller1 (3)
End Sub
```

Variáveis/Funções

```
Public Passo_N 'numero de passos em cada direcao usando teclado
Public Passo_S
Public Passo_L
Public Passo_O
Public Acompanha 'variavel para controlar acompanhamento
Public Rel1 'relacao angulo por passos para motor 1 e 2
Public Rel2
Public Desl_Alt 'deslocamento goto
Public Desl_Az
Public Desl_Key_Az 'deslocamento provocado por teclado
Public Desl_Key_Alt
Public Scope_Alt 'posicao atual do telescopio
Public Scope_Az
Public Tempo_Zero 'horario de inicio da calibracao 2 estrelas
Public Estrela1_Alt 'coordenada da estrela no telescopio
Public Estrela1_Az
Public Estrela2_Alt 'coordenada da estrela no telescopio
Public Estrela2_Az
Public Estrela 'Variável para diferenciar estrelas calibr/local
Public k 'constante para transformar tempo sideral
Public rad 'constante para transformar graus em radianos
Public A
Public DetX 'Determinante da matriz X
Public Det 'Determinante
Public RaH
Public RaM
Public RaS
Public DeG
Public DeM
Public DeS
Public LimiteAcomp

'Zera os passos enviados ao motor
Sub Passos()

    Passo_N = 0
    Passo_S = 0
    Passo_L = 0
    Passo_O = 0
End Sub

Sub Posicao_Telescopio(Alt, Az)
    Scope_Alt = Scope_Alt + Alt
    Scope_Az = Scope_Az + Az
    If Scope_Az >= 360 Then
        Scope_Az = Scope_Az - 360
    End If
    If Scope_Az < 0 Then
        Scope_Az = Scope_Az + 360
    End If
    Passos
End Sub
```



```
Alt = 0  
Az = 0  
End Sub
```

```
Sub SelecionarAstro(Condicao As Boolean)  
Form1.KeyPreview = False  
Form1.Combo1.Enabled = Condicao  
Form1.OKConst.Enabled = Condicao  
Form1.Text3.Enabled = Condicao  
Form1.OKbusca.Enabled = Condicao  
Form1.List1.Enabled = Condicao  
Form1.Exibir.Enabled = Condicao  
Form1.SelectEst.Enabled = Condicao  
End Sub
```

Form 2

```
Private Sub FechStat_Click()  
Form2.Hide  
End Sub
```



APÊNDICE D

LISTA DE MATERIAIS

- 2 motores de passo NEMA 17
- Controlador A-100
- Fonte de alimentação
- Cabo porta paralela
- Cabo para extensão
- Tubo de PVC diam:200mm comp:1,3m
- Tarugo de PVC - diam:42mm, comp:200mm
- Tira de borracha (revestimento rodinhas)
- Chapa de Alumínio (fixação dos motores)
- 2 Redutores 10:1
- 6 parafusos - motor
- Vareta com rosca 1/8 - 500mm
- 11 parafusos 1/8x1 1/2
- 4 parafusos 1/8x2
- 14 porcas 1/8
- 7 porcas-borboleta 1/8
- 5 parafusos 3/16x1 1/2
- 4 parafusos 3/16x3
- 10 porcas 3/16
- 3 parafusos 1/4x2 1/2 - cabeça chata
- 1 parafuso 1/4x4
- 6 porcas 1/4
- 3 borboletas 1/4
- 4 molas
- Pregos de aço/Cola
- Lixas e tinta em spray (acabamento)



Figura 69 - Suporte para os motores de passo - medidas de acordo com o motor usado



Peças da estrutura - Compensado de 18mm

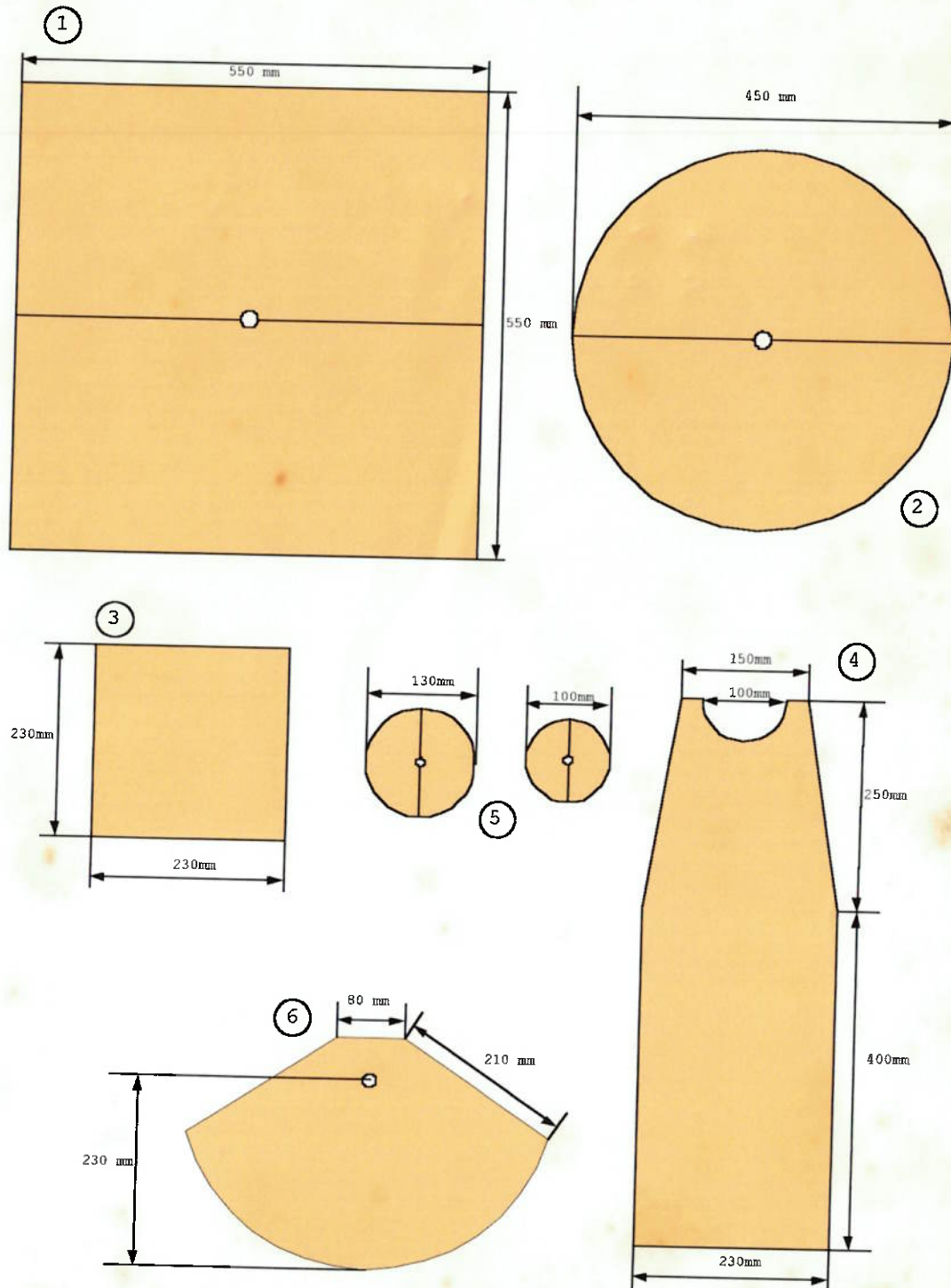


Figura 70 - Peças 1 e 2: base, com furo central para o eixo; Peça 3: 2 unidades para apoiar peças 4; Peça 4: 2 unidades, laterais da estrutura; Peça 5: 2 unidades de cada, apoios do telescópio na estrutura, os discos maiores são de madeira de 15mm; Peça 6: Roda de transmissão do eixo de altura.